This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06637386 5

EXPOSÉ

DES

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE

RUE SAINT-BENOÎT, 7

EXPOSÉ

DES APPLICATIONS

DE L'ÉLECTRICITÉ

PAR

LE Vte TH. DU MONCEL

TOME DEUXIÈME

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

DEUXIÈME ÉDITION

ASTOR LIBRARY
NEW-YORK

Ancien Comptoir
DES IMPRIMEURS-UNIS.

PARIS,

Ancienne Maison
L. MATHIAS (Augustin).

Librairie Scientifique-Industrielle et Agricole

DE LACROIX-COMON,

15, Quai Malaquais.

1856

NEW-YORK
PUBLIC
LIBRARY

EXPOSÉ

DES

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

LIVRE III

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

I

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE [1].

Bien que l'établissement des lignes télégraphiques qui sillonnent maintenant le monde en tous sens soit d'une date très-récente, l'idée première de cette magnifique application de l'électricité n'est pas nouvelle; elle était la conséquence naturelle de la découverte qu'on fit, il y a plus d'un siècle, de l'instantanéité de la transmission électrique. Le document le plus ancien trouvé jusqu'à présent, dans lequel cette question se trouve nettement posée et discutée, est une lettre écrite par un Écossais, dont le nom

1. Voir, pour l'histoire de la télégraphie, les ouvrages spéciaux, ceux de MM. l'abbé Moigno, Vail, Lardner, etc.

n'est désigné que par les initiales C. M., et qui est datée de Renfrew le 1er février 1753. Voici ce document tel que nous le trouvons traduit dans le *Cosmos* du 17 février 1854, et qui avait été publié en février 1753 dans le volume XV, page 88, du *Scots-Magazine :*

Renfrew, 1er février 1753.

« Sir (Monsieur),

« Il est bien connu de tous ceux qui s'occupent d'expériences d'électricité que la puissance électrique peut se propager, le long d'un fil fin, d'un lieu à un autre, sans être sensiblement affaiblie par la longueur de sa course. Supposons maintenant un faisceau de fils, en nombre égal à celui des lettres de l'alphabet, étendus horizontalement entre deux lieux donnés, parallèles l'un à l'autre, et distants l'un de l'autre d'un pouce.

« Admettons qu'après chaque vingt yards les fils soient reliés à un corps solide par une jointure en verre ou en mastic de joaillier, pour empêcher qu'ils n'arrivent en contact avec la terre ou quelque corps conducteur, et pour les aider à porter leur propre poids. La batterie électrique sera placée à angle droit à l'une des extrémités des fils, et le faisceau des fils à cette extrémité sera porté par une pièce solide de verre; les portions des fils qui vont du verre-support à la machine ont assez d'élasticité et de roideur pour revenir à leur position primitive après avoir été amenées en contact avec la batterie. Tout près de ce même verre-support, du côté opposé, une balle ou boule descend suspendue à chaque fil, et, à un sixième ou un dixième de pouce au-dessous de chaque balle, on place l'une des lettres de l'alphabet, écrite sur de petits morceaux de papier ou d'une autre substance quelconque assez légère pour pouvoir être attirée et soulevée par la balle électrisée; on prend en outre tous les arrangements nécessaires pour que chacun de ces petits

papiers reprenne sa place lorsque la balle cesse de l'attirer.

« Tout étant disposé comme ci-dessus, et la minute à laquelle doit commencer la correspondance étant fixée d'avance, je commence la conversation avec mon ami à distance de cette manière : Je mets la machine électrique en mouvement, et si le mot que je veux transcrire est SIR, par exemple, je prends, avec un bâton de verre ou avec un autre corps électrique par lui-même ou isolant, les différents bouts de fils correspondant aux trois lettres qui composent le mot. Puis je les presse de manière à les mettre en contact avec la batterie. Au même instant, mon correspondant voit ces différentes lettres se porter, dans le même ordre, vers les balles électrisées à l'autre extrémité des fils : je continue à épeler ainsi les mots aussi longtemps que je le juge convenable ; et mon correspondant, pour ne pas les oublier, écrit les lettres à mesure qu'elles se soulèvent; il les unit, et il lit la dépêche aussi souvent que cela lui plaît. A un signal donné, ou quand j'en ai le désir, j'arrête la machine, je prends la plume à mon tour, et j'écris ce que mon ami m'envoie de l'autre extrémité de la ligne.

« Si quelqu'un juge que ce mode de correspondance est quelque peu ennuyeux, au lieu de balles, il pourra suspendre au plafond une série de timbres, en nombre égal aux lettres de l'alphabet, et diminuant graduellement de dimension depuis le timbre A jusqu'au timbre Z. Du premier faisceau de fils horizontaux, il en fera partir un autre aboutissant aux différents timbres, c'est-à-dire qu'un fil ira du fil A au timbre A, un autre du fil B au timbre B, etc.

« Alors celui qui commence la conversation amène successivement les fils en contact avec la batterie comme auparavant, et l'étincelle électrique se déchargeant sur les timbres de dimensions différentes désignera au correspondant, par le son produit, les fils qui auront été tour à tour touchés. De cette manière, et avec un peu de pra-

tique, les deux correspondants arriveront sans peine à traduire en mots complets le langage des carillons, sans être assujettis à l'ennui de noter ou d'écrire chacune des lettres indiquées. On peut parvenir encore au même but d'une autre manière : supposons que les balles soient suspendues au-dessus des caractères, comme dans la première expérience; mais au lieu d'amener les extrémités des fils horizontaux en contact avec la batterie, concevons qu'un second faisceau de fils partant de l'électrificateur vienne aboutir aux fils horizontaux du premier faisceau, et que tout soit en même temps disposé de telle sorte que chacun des fils de la deuxième série puisse être détaché du fil correspondant de la première par une pression exercée sur une simple touche, et qu'il revienne de nouveau aussitôt qu'on lui rend la liberté en cessant de presser. Ceci peut être obtenu par l'intermédiaire d'un petit ressort ou de vingt autres moyens que l'on imaginera sans peine. De cette manière les caractères adhéreront constamment aux balles, excepté lorsque l'on éloignera un des fils secondaires du fil horizontal en contact avec la balle, et alors la lettre, à l'autre extrémité du fil horizontal, se détachera immédiatement de la balle, et sera par là même montrée au correspondant. Je mentionne en passant cette nouvelle disposition comme une variété intéressante.

« Quelqu'un pensera peut-être que quoique le feu ou flux électrique n'ait pas paru sensiblement diminuer d'intensité dans sa propagation à travers les longueurs de fils expérimentés jusqu'ici, on peut raisonnablement supposer, comme ces longueurs de fils n'ont pas dépassé 30 ou 40 yards (mètres), que, sur une longueur beaucoup plus grande, cette intensité diminuera considérablement et sera probablement entièrement épuisée par l'action de l'air environnant, après un parcours de quelques milles.

« Pour prévenir cette objection et sans perdre le temps

en arguments inutiles, je dirai, qu'il suffira de recouvrir les fils d'une extrémité à l'autre avec une couche mince de mastic de joaillier : ceci peut se faire avec une dépense additionnelle très-minime; et comme cette couche est électrique par elle-même, c'est-à-dire isolante, elle mettra efficacement chaque partie du fil à l'abri de l'action épuisante de l'atmosphère.

« Je suis, etc. C. M. »

En 1774, un savant d'origine française, Le Sage, eut la même idée et lui donna à Genève un commencement d'exécution. Mais les nombreux inconvénients qui se rattachent au mode de production de l'électricité par les machines durent faire renoncer à l'établissement en grand de ce système; d'ailleurs les idées du temps n'étaient pas tournées de ce côté.

Plusieurs essais également infructueux furent tentés successivement par MM. Lomond en 1787, Reisen en 1794, Salva et l'infant don Antonio d'Espagne en 1796, Cavallo en 1795, Betancourt en 1798, et Ronalds en 1823, pour résoudre le problème par l'électricité statique. Tous ces systèmes, qu'ils manifestassent leurs signes par des électromètres, par des traces d'étincelles électriques sur des carreaux étincelants, par l'inflammation de substances détonantes ou des décharges de bouteilles de Leyde, péchaient tous par leur base elle-même. Ce n'est que quand les effets de l'électricité dynamique furent connus, et en particulier l'aimantation temporaire du fer doux sous l'influence du courant électrique, qu'on put songer à établir en grand le télégraphe électrique et à abandonner le système si ingénieux de l'abbé Chappe. Toutefois l'histoire de la télégraphie électrique présente plusieurs périodes intéressantes à connaître, que nous allons passer rapidement en revue.

Depuis la découverte de l'électricité dynamique (l'électricité de la pile) par Volta, en 1800, jusqu'à celle de l'électro-magnétisme proprement dit, les physiciens cherchèrent à résoudre le problème de la manifestation des signaux par les différents effets physiques ou chimiques auxquels pouvait donner lieu ce genre d'influence électrique, mais la plupart employaient autant de fils que de signaux à transmettre. C'est ainsi que Sœmmering, en 1811, proposa à l'académie de Munich un télégraphe fondé sur la décomposition de l'eau par le courant[1]; qu'Ampère, en 1820, après la découverte d'OErsted, voulut substituer à l'action de la décomposition de l'eau (dans le télégraphe Sœmmering) la propriété que possède l'aiguille aimantée de se mettre en croix sur le courant; que Schweigger, en 1828, proposa de faire agir le courant sur différents pistolets de Volta, correspondants aux différents signaux, ou d'employer deux piles d'inégale puissance dans le télégraphe Sœmmering, afin que le dégagement plus ou moins prompt des bulles de gaz dans le fait de la décomposition de l'eau, permît de réduire de moitié, et même davantage, le nombre des circuits électriques, condition essentielle pour l'établissement en grand de semblables appareils.

En 1837, MM. Richtie et Alexander construisirent, à Édimbourg, un télégraphe un peu plus étudié, mais qui n'était, du reste, qu'une simple complication mécanique du télégraphe d'Ampère. Dans cet appareil, les vingt-quatre lettres de l'alphabet, et les quelques autres signes nécessaires à la langue télégraphique, étaient placés dans des guichets, et se trouvaient à l'état normal, voilés par de petits écrans appliqués sur des aiguilles aimantées. Un cir-

1. Il est vrai que, dès l'année 1810, M. Coxe, en Amérique, eu l'idée d'utiliser à la télégraphie la propriété décomposante du courant voltaïque.

cuit particulier passait au-dessous de chaque aiguille, et ces circuits venaient aboutir à la station opposée à un clavier au moyen duquel on pouvait, en appuyant le doigt sur l'une ou l'autre des touches, fermer le courant correspondant à telle ou telle lettre qu'on voulait signaler. Sous l'action de ce courant, l'aiguille portant l'écran se trouvait déviée de sa direction, et la lettre, ainsi dégagée de son écran, se montrait à distance à celui qui était chargé de recevoir la dépêche.

D'autres perfectionnements furent apportés successivement à cette première idée de l'emploi de l'aiguille aimantée ou des barreaux aimantés pour la manifestation des signaux par MM. Schilling de Saint-Pétersbourg en 1833, Gauss et Weber de Gœttingue en 1835, Wheatstone en 1837, Steinheil de Munich en 1837, Amyot en 1838, Masson et Breguet en 1838. Mais de ces différents systèmes ceux de MM. Wheatstone et Steinheil furent les seuls qui purent être exécutés pratiquement et qui furent expérimentés sur une ligne d'une certaine étendue. Toutefois MM. Gauss et Weber avaient déjà utilisé dès l'année 1835 leur système télégraphique pour relier l'observatoire de Gœttingue au cabinet de physique de l'université de cette même ville. Par ce moyen, en effet, ils avaient pu obtenir les signaux nécessaires pour leur correspondance scientifique.

Les premiers essais de MM. Wheatstone et Steinheil remontent, comme je l'ai déjà dit, à l'année 1837, mais comme c'est entre ces deux savants que la question de priorité pour l'application en grand de la télégraphie électrique peut être débattue, il importe de bien préciser les dates.

La première notice de M. Wheatstone sur son télégraphe a été publiée en mars 1837 dans le *Magazine of popular Science*. Dans cette notice où il rappelle ses belles expériences sur la vitesse de l'électricité, ce savant décrit un

appareil qu'il avait fait construire, et qui, malgré les mauvaises conditions de sa construction, était capable, dès alors, de transmettre trente signaux simples, lesquels, par leur combinaison, pouvaient suffire aux besoins de la télégraphie.

C'est en juin 1837 que M. Wheatstone prit, avec M. Cooke, sa première patente où se trouvent mentionnés : 1° son télégraphe à cinq aiguilles verticales ; 2° son système de sonnerie au moyen d'électro-aimants frappant sur des timbres ou déclanchant des sonneries mues par des mouvements d'horlogerie ; 3° son système de relais thermométrique que nous avons décrit page 282. (1er vol.)

Le premier essai de ce système télégraphique fut fait en juillet 1837, sur le chemin de Londres à Birmingham, avec des fils présentant une longueur d'un mille et demi. La réussite fut complète, comme le témoignent deux lettres écrites à cette époque à M. Wheatstone, et qui sont reproduites dans une brochure récemment publiée par M. Wheatstone lui-même.

La première description du système télégraphique de M. Steinheil n'a été publiée qu'au mois de septembre 1838. Il est vrai qu'auparavant, c'est-à-dire à la fin de l'année 1836, M. Steinheil, frappé des expériences de MM. Gauss et Weber, chercha à les répéter à Munich ; mais ces expériences n'avaient rien de commun avec le système télégraphique qu'il imagina depuis, et qui, d'après le Mémoire de M. Steinheil imprimé dans les comptes-rendus de l'Académie des Sciences du 10 septembre 1838, fut installé le 19 juillet 1837 [1].

Si cette date de l'installation du télégraphe de M. Steinheil est exacte, il en résulte que les essais des deux sys-

1. Dans les comptes-rendus, on a imprimé le 19 juillet 1838 ; mais on dit auparavant : *depuis plus d'un an qu'il est construit*, etc. Il y a évidemment une erreur : est-ce depuis plus d'un mois qu'on a voulu dire, ou en juillet 1837 ?

tèmes ont été faits en même temps; mais comme M. Wheatstone a fait connaître son système longtemps avant M. Steinheil, on peut en conclure que c'est à lui d'abord, et à M. Steinheil ensuite, que revient la gloire d'avoir fait la première application en grand de la télégraphie électrique.

Quoique les systèmes de MM. Wheatstone et Steinheil dérivent de l'idée première d'Ampère, puisqu'ils sont fondés sur les déviations exercées par le courant sur l'aiguille aimantée, ils diffèrent considérablement l'un de l'autre, et peuvent être considérés, l'un comme le point de départ de tous les télégraphes *à aiguilles* que l'on a imaginés depuis, l'autre comme l'origine de tous les télégraphes *écrivants* et *auditifs* qui sont aujourd'hui en vogue. En conséquence, nous devons leur consacrer quelques pages, bien que nous ne prétendions pas faire ici un travail spécial sur la télégraphie.

Télégraphe de M. Wheatstone. — Le premier télégraphe de M. Wheatstone se composait de 5 galvanomètres, et par conséquent nécessitait 6 fils, puisqu'à cette époque on n'employait pas la terre pour le retour du courant. Ces 5 galvanomètres, représentés par les chiffres 1, 2, 3, 4, 5, fig. 1, pl. I, étaient placés derrière un cadre en losange, sur lequel étaient tracées diagonalement entre elles les vingt principales lettres de l'alphabet, comme on le voit sur la figure : l'un des bouts du fil de chaque galvanomètre correspondait à l'un des fils de la ligne et les autres bouts venaient se réunir à un même fil, qui complétait ainsi cinq circuits différents. Chacun de ces circuits était en rapport à la station, qui transmettait avec un double interrupteur, et ces interrupteurs, disposés comme on le voit fig. 2, pl. I, constituaient le *manipulateur* ou le transmetteur du télégraphe.

Pour désigner avec ce système les différentes lettres in-

diquées sur le cadran, il suffisait de diriger le courant à travers deux des galvanomètres de manière que les aiguilles, dans leur déviation, pussent pointer ensemble vers la même lettre. Ainsi, pour désigner la lettre V, il fallait que le courant passât à travers les galvanomètres 1 et 4, dans un sens différent, de manière que le point d'intersection des deux directions des aiguilles se trouvât en V. Pour désigner la lettre F, il aurait fallu que les galvanomètres 2 et 4 fussent actifs. Enfin la désignation des chiffres, dans le système de M. Wheatstone, se faisait par la déviation d'un seul galvanomètre, et à cet effet les 10 chiffres se trouvaient placés sur deux des côtés du cadran, comme on le voit dans la fig. 1. Cette désignation était facile, car chaque galvanomètre pouvait indiquer deux chiffres, suivant la direction du courant. Ainsi le galvanomètre n° 2 pouvait indiquer le chiffre 2 et le chiffre 7, le galvanomètre n° 3 le chiffre 3 et le chiffre 8, etc.

Pour obtenir des inversions déterminées du courant et faire réagir tantôt deux galvanomètres à chaque station, tantôt un seul, il fallait un manipulateur particulier, dans lequel tous les circuits fussent fermés les uns par les autres à l'état normal, et qui n'eût pour fonction que de faire entrer la pile dans l'un ou l'autre de ces circuits, au moment de la correspondance. Voici comment ce manipulateur a été disposé par M. Wheatstone :

Six lames de ressort 6, 1, 2, 3, 4, 5, fig. 2, pl. I, fixées sur une traverse de bois DD et appuyant à l'état normal contre une traverse métallique LL, portaient fixés à l'extrémité de petits ressorts en spiral, des boutons d'ivoire 7, 9, 11, 13, 15, 17, 8, 10, 12, 14, 16, 18. Ces boutons se terminaient inférieurement par un petit cylindre métallique AB, fig. 3, évidé vers le milieu, de manière à permettre au bouton un petit mouvement de haut en bas; au-dessous de ces boutons disposés sur deux rangées, étaient fixées deux lames

métalliques NN, PP, mises en rapport avec les pôles de la pile. Enfin des boutons d'attache adaptés aux cinq lames de ressorts 6, 1, 2, 3, 4, 5, unissaient le manipulateur à son cadran récepteur, et les cadrans eux-mêmes étaient reliés entre eux par les 6 fils de la ligne.

Pour transmettre un signal quelconque, il fallait que deux des boutons du manipulateur fussent touchés en même temps, mais il fallait aussi que ces boutons appartinssent, l'un à la rangée supérieure, l'autre à la rangée inférieure. Les nombres suivants, représentant les boutons, indiquent ceux qu'il faut presser pour signaler les lettres et les chiffres sur le cadran.

LETTRES.

Pour	A	boutons	10	et	17	Pour	M	boutons	9	et	12
—	B	—	10	—	15	—	N	—	11	—	14
—	D	—	12	—	17	—	O	—	13	—	16
—	E	—	10	—	13	—	P	—	15	—	18
—	F	—	12	—	15	—	R	—	9	—	14
—	G	—	14	—	17	—	S	—	11	—	16
—	H	—	10	—	11	—	T	—	13	—	18
—	I	—	12	—	13	—	V	—	9	—	16
—	K	—	14	—	15	—	W	—	11	—	18
—	L	—	16	—	17	—	Y	—	9	—	18

CHIFFRES.

Pour	1	boutons	7	et	10	Pour	6	boutons	8	et	9
—	2	—	7	—	12	—	7	—	8	—	11
—	3	—	7	—	14	—	8	—	8	—	13
—	4	—	7	—	16	—	9	—	8	—	15
—	5	—	7	—	18	—	10	—	8	—	17

Pour peu qu'on suive la marche du courant sur les figures 1 et 2 de la pl. I, on comprendra immédiatement comment les boutons du manipulateur ainsi touchés transmettront le courant à travers les galvanomètres dans le sens qui convient. En effet, si les boutons 13 et 18 par exemple sont

touchés, le pôle positif de la pile aboutissant à la traverse N N, le courant ira de N au bouton 13, de celui-ci au ressort n° 3, entrera dans les galvanomètres 3 des deux cadrans, regagnera le ressort 3 du manipulateur de la deuxième station, et par la traverse LL de ce même manipulateur, contre laquelle appuie ce ressort, il ira au ressort n° 5, également en contact avec cette traverse, parviendra aux deux galvanomètres 5 par le fil 5 de la ligne, et reviendra au pôle négatif de la pile par le ressort 5 du premier manipulateur, le bouton 18 et la lame PP. La lettre désignée sera la lettre T.

D'après cette combinaison des courants, on comprend aisément la nécessité dans laquelle a été M. Wheatstone d'adapter à ses boutons un ressort spiral. En effet, s'il se fût contenté de fixer sur les lames 6, 1, 2, 3, 4, 5 les deux boutons interrupteurs, il s'en serait suivi que l'abaissement de l'un ou de l'autre de ces deux boutons aurait provoqué le contact du ressort sur lequel ils auraient été fixés avec les deux pôles de la pile. Par l'intermédiaire du ressort spiral, ce double contact n'a pas lieu, et l'on peut cependant, en abaissant l'un ou l'autre des boutons, séparer les lames 6, 1, 2, 3, 4, 5 de la traverse LL, condition indispensable pour le fonctionnement de l'appareil.

La partie du télégraphe de M. Wheatstone destinée à donner l'alarme renferme en elle tout le secret des applications électro-mécaniques qui ont été faites depuis; elle constitue, selon moi, une des plus grandes inventions de M. Wheatstone : car c'était alors la première fois qu'on utilisait l'électricité comme moyen régulateur de mécanismes d'horlogerie, en prenant comme intermédiaire les électro-aimants. Or, c'est là, comme je l'ai fait observer page 342 de mon premier volume, le seul moyen de multiplier la puissance mécanique de cet agent physique, surtout quand on doit agir à distance. Voici ce que M. Que-

telet dit de cette invention, dans son rapport à l'Académie de Bruxelles sur les expériences de M. Wheatstone[1] :

« Il est une partie très-importante dans le nouveau télégraphe dont nous venons de parler, c'est l'alarme ou cloche qui appelle l'attention de l'observateur. Cette cloche sonne sous un marteau de détente, qui est subitement relâché par l'action d'un aimant temporaire de fer doux sur lequel on fait agir le courant électrique. Par ce moyen très-ingénieux et qui appartient exclusivement à M. Wheatstone, l'observateur à l'une des stations peut appeler l'attention de l'autre observateur en faisant frapper fortement le timbre. »

Télégraphe de M. Steinheil. — Le télégraphe de M. Steinheil se composait d'un simple galvanomètre A A, fig. 4, pl. I, à l'intérieur duquel pivotaient sur pointes, autour d'arbres verticaux, deux barreaux aimantés D D. Ces barreaux portaient chacun une tige métallique terminée par un bec tubulaire K, H, dans lequel était versée de l'encre. En face de ces deux becs était disposée une bande de papier E E, fig. 5, que pouvait entraîner avec une vitesse uniforme un mouvement d'horlogerie M. Enfin deux barreaux aimantés N, S, susceptibles d'être éloignés ou rapprochés suivant l'intensité du courant, pouvaient rappeler les barreaux D D dans leur position normale, suivant l'axe du galvanomètre.

Quand le courant était dirigé à travers le galvanomètre, dans un certain sens, les deux barreaux déviant du même côté, l'un des deux becs chargés d'encre s'approchait de la feuille de papier et y déposait un point noir, tandis que l'autre bec s'en éloignait. Mais quand le courant venait à changer de direction, celui des deux becs qui s'était éloigné se trouvait rappelé et laissait à son tour un point dont la position sur le papier était différente de celle de la pre-

1. Ce rapport a été lu le 10 février 1838.

mière trace. Ces points pouvant être combinés les uns par rapport aux autres de mille manières différentes par suite du mouvement du papier, il devenait facile de composer un alphabet conventionnel à l'aide duquel des signaux pussent être échangés.

En adaptant à la partie de son télégraphe, opposée à celle où se trouvait le mouvement d'horlogerie, deux timbres sonores dont les sons différaient d'une sixte, et les disposant de manière à ce qu'ils pussent être frappés par les barreaux aimantés au moment de leur déviation, M. Steinheil a pu faire de son télégraphe un télégraphe auditif d'un usage facile et qui avait l'avantage de ne pas exiger une surveillance continuelle de la part des employés.

Comme M. Steinheil employait pour le fonctionnement de son télégraphe les courants résultant d'une machine magnétique, l'appareil transmetteur de ce télégraphe consistait dans la machine magnéto-électrique elle-même, qu'il suffisait de tourner dans un sens ou dans l'autre pour changer le sens du courant. A cet effet, la manivelle des machines à rotation était remplacée par un balancier horizontal analogue à celui des presses à timbre, et comme ce balancier était manœuvré à la main, l'on pouvait, en variant la longueur des intervalles de temps entre les transmissions électriques, obtenir des écartements plus ou moins grands des points sur la bande de papier, ce qui permettait de simplifier considérablement le vocabulaire télégraphique.

Dans l'alphabet que M. Steinheil avait choisi, les lettres qui, dans la langue allemande, sont les plus fréquentes, correspondent aux signes les plus simples. De plus, M. Steinheil s'était arrangé de manière à établir une sorte de similitude entre les lettres latines et les groupes de signes, afin qu'ils pussent se fixer mieux dans la mémoire. Grâce aux trois modes de combinaisons dont nous avons parlé, les

signaux les plus compliqués n'exigeaient que quatre points ou quatre sons distincts.

Comme on le voit d'après la description précédente, le télégraphe de M. Steinheil présentait deux innovations bien grandes pour l'époque, innovations qui, à elles seules, pouvaient faire entrevoir dans un avenir prochain la solution complète du problème de la télégraphie électrique. Ces innovations étaient d'abord la possibilité de la transmission d'un nombre indéfini de signaux à l'aide d'un seul circuit; en second lieu la possibilité d'avoir un langage télégraphique parlé ou écrit sans combinaisons trop compliquées de signaux; mais l'innovation la plus importante, celle qui attache au nom de M. Steinheil une gloire impérissable, ce fut l'application qu'il fit dans ce télégraphe (établi sur une longueur d'une lieue trois quarts d'Allemagne), de la faculté de transmission du sol [1]. Dès lors un seul fil suffisait pour la transmission électrique, et la dépense la plus chère, celle de l'installation de la ligne, se trouvait réduite de moitié.

Pendant que MM. Wheatstone et Steinheil mettaient en essai leurs ingénieuses inventions, M. Morse, en Amérique, cherchait de son côté à résoudre le problème de la télégraphie électrique. A son voyage en 1838 en Angleterre, il montra en effet, sous le sceau du secret, un télégraphe électrique qu'il venait de faire exécuter, et qu'il voulut faire breveter à Londres; mais la patente lui fut refusée à cause du brevet de M. Wheatstone. Toutefois ce télégraphe présentait des avantages réels, comme nous allons le voir à l'instant.

On a voulu faire remonter à l'année 1832 l'invention de M. Morse, et, pour lui donner plus de couleur, on a prétendu qu'elle avait été faite à bord du navire *le Sully* qui ramenait M. Morse en Amérique. A l'appui de cette asser-

1. Voir le premier volume, page 44.

tion, on a fait valoir des lettres du capitaine de ce navire et de M. W. C. Rives, ministre des États-Unis auprès du gouvernement français; mais ces lettres ne prouvent autre chose qu'on avait parlé de télégraphie électrique à bord du navire *le Sully*, et que M. Morse, comme tant d'autres, cherchait à réaliser le problème. Quand bien même il aurait dit au capitaine du *Sully* : « Rappelez-vous, capitaine, « quand mon télégraphe sera la merveille du monde, qu'il « aura été découvert à bord du *Sully*. » Cela ne prouve pas que le télégraphe électro-magnétique, dit américain, ait été alors imaginé. Pourquoi alors M. Morse aurait-il été six ans avant de le faire breveter et de le mettre à l'essai, ou même de le faire connaître? D'un autre côté, que signifie cette réclamation de M. Jackson à l'Académie des Sciences, dans laquelle ce savant prétend que M. Morse s'est approprié son invention, et que c'est lui, M. Jackson, qui la lui a développée longuement à bord du *Sully?* Si on doit s'en rapporter à des lettres pour la priorité d'une invention, cette dernière annulerait évidemment celles de M. Brives et du capitaine du *Sully*.

Du reste, quelle que soit la date de l'invention du télégraphe électro-magnétique américain, quels que soient les droits de M. Morse dans cette invention, ce télégraphe, qui est fondé sur le même principe que celui de M. Steinheil, présentait un perfectionnement réel, incontestable, qui devait tôt ou tard le faire adopter partout : c'était l'application des électro-aimants à la désignation, et même à la formation des signaux télégraphiques; il offre aussi l'immense avantage de fournir la dépêche tout imprimée. Il est vrai que les signes ainsi reproduits ne sont, comme ceux du télégraphe de M. Steinheil, que des combinaisons plus ou moins compliquées de lignes et de points, qu'il faut une certaine étude pour comprendre, et un temps assez long pour transmettre; mais ce système offre pour

les directeurs des lignes télégraphiques un moyen tellement infaillible de contrôle, qu'on a dû passer par-dessus tous les inconvénients qui lui sont inhérents. D'ailleurs l'appareil est très-simple en lui-même; il n'entraîne pas l'accumulation des erreurs dans la transmission des signaux, et n'exige qu'un seul fil à la ligne. En France, où ce système va être définitivement adopté, comme il l'est déjà dans toute l'Allemagne et en Amérique, son emploi présentera l'immense avantage d'éviter les doubles traductions, et c'est sans doute là la raison qui a le plus contribué à faire abandonner l'ancien système dont nous parlerons plus tard. Quoi qu'il en soit, il est curieux de constater ici que, malgré tous les remarquables perfectionnements qu'on a apportés aux télégraphes depuis bientôt vingt ans, on en soit revenu dans la pratique à un des systèmes primitifs. Nous ne décrirons pas davantage en ce moment cet intéressant appareil, car nous lui consacrerons plus tard un chapitre entier. Nous croyons plus intéressant maintenant de continuer notre aperçu historique de la télégraphie électrique, afin qu'on puisse bien se rendre compte de la manière dont se sont succédé les divers perfectionnements apportés aux appareils primitifs, pour rendre le télégraphe susceptible non-seulement d'imprimer les dépêches en lettres romaines, mais encore de reproduire l'écriture même de celui qui les envoie.

En 1839, plusieurs systèmes télégraphiques nouveaux, entre autres celui de M. Davy, furent mis au jour; mais le plus curieux de tous ces systèmes, autant par son originalité que par sa nouveauté, fut celui que proposa à cette époque M. Worselman de Heer. Il était fondé sur ce principe que les impressions physiologiques peuvent se manifester à une bien plus grande distance, et avec un fil plus fin que les effets physiques ou chimiques. En partant de ce fait, l'auteur organisait son appareil de telle manière que le préposé

chargé du soin de recevoir la dépêche, ayant ses dix doigts appuyés sur les touches d'une espèce de clavier, pût recevoir de l'une ou de l'autre de ces touches, suivant le signe transmis, une *commotion*, dont il pouvait apprécier le seul télégraphique par le numéro d'ordre de celui ou de ceux des doigts qui la ressentaient. Comme alarme, M. Worselman employait une espèce de ceinture semi-métallique que chaque employé devait porter sur son corps, et dont les parties métalliques étant en communication avec les fils de la ligne, pouvaient transmettre une commotion suffisamment forte pour les avertir de se tenir prêts, ou même les réveiller au besoin..... Pauvres employés !.....

Le système de M. Davy avait une grande analogie avec celui de Morse; seulement les signaux, au lieu d'être produits par un crayon ou un style à pointe émoussée, étaient le résultat d'une décomposition chimique opérée à travers e papier sous l'influence du courant. Cette idée, comme nous le verrons plus tard, a été reprise par M. Bain, et l'a conduit à son télégraphe électro-chimique, dont nous avons exposé le principe page 236, 1er volume.

Les résultats si satisfaisants auxquels M. Wheatstone était parvenu à l'aide de son premier appareil, l'encouragèrent à le perfectionner; il y arriva dans un temps très-court, et dès l'année 1840, son télégraphe avait atteint son plus grand degré de simplicité; cette fois, un seul fil conducteur pouvait suffire : aucun effet mécanique n'était produit par l'action directe de l'électricité. Le courant n'avait à produire par son passage que l'aimantation d'électro-aimants artificiels; ces électro-aimants attiraient de petits morceaux de fer doux; ces petits morceaux de fer déplacés par l'effet de l'attraction magnétique, devaient laisser agir des mouvements d'horlogerie par l'intermédiaire d'un échappement, et se trouvaient ramenés à leur place par des ressorts antagonistes aussitôt que l'action attractive cessait. Le mouve-

ment d'horlogerie, ainsi dégagé, faisait avancer, à chaque échappement de dent de la roue régulatrice, un cadran ou une aiguille mobile autour d'un cadran; et comme ce cadran portait autant de lettres ou de signaux qu'il y avait de dents dans la roue d'échappement, chaque mouvement exécuté par l'armature de l'électro-aimant soit dans un sens, soit dans l'autre, faisait arriver l'aiguille devant une lettre différente du cadran, ou par le nombre de mouvements imprimés à l'armature de l'électro-aimant, on pouvait donc obtenir la désignation de tel ou tel signal, et au moyen d'un interrupteur disposé en conséquence, on pouvait même éviter le soin de compter le nombre de fermetures et d'interruptions de courant nécessaires pour la désignation de ce signal, en faisant arriver la clef de ce manipulateur devant le signal lui-même qu'on voulait transmettre. En un mot, M. Wheatstone, en 1840, venait de découvrir le télégraphe électro-magnétique à cadran, tel qu'il est encore actuellement employé dans le service des chemins de fer.

Dans le brevet que M. Wheatstone prit à cette époque, pour s'assurer la propriété de cette belle invention, plusieurs dispositions importantes se trouvent spécifiées : 1° d'abord le moyen d'utiliser le mouvement alternatif de l'armature d'un électro-aimant, à mettre directement en mouvement une roue à rochet[1]; 2° le moyen de faire réagir les électro-aimants à grande distance, en les enroulant de fil fin, ce qui n'avait pas été fait jusqu'alors; 3° le moyen de substituer le courant issu des machines magnéto-électriques à celui de la pile pour le fonctionnement des télégraphes électro-magnétiques; 4° le moyen de faire sonner une grosse cloche avec une très-faible force électrique.

En 1841, une nouvelle patente, prise par M. Wheatstone,

1. Voir le premier volume, page 340.

mettait au jour une nouvelle disposition de son télégraphe, qui lui permettait d'imprimer en lettres romaines sur une bande de papier la dépêche transmise. Il y avait certes loin de là à son premier télégraphe, et c'était alors un résultat qui tenait du prodige. Nous décrirons avec détail, au chapitre des télégraphes imprimeurs, ce merveilleux appareil. Mais le brevet en question ne se rapportait pas seulement à ce télégraphe, il mentionne encore deux autres appareils importants, le *Rhéostat* que nous avons décrit page 446 du premier volume, et un électro-moteur qui a été, quelques années plus tard, reproduit par MM. Froment et Marié Davy [1].

En 1843, M. Bain, mécanicien anglais, imagina de son côté un système télégraphique qui pouvait aussi imprimer les dépêches et qui avait pour organe électrique un système électro-magnétique, alors tout à fait nouveau, que nous avons décrit sous le nom de cadre galvanométrique, p. 234, Ier vol. Ce télégraphe présentait, comme mécanisme, une nouveauté à laquelle on a eu souvent recours depuis, et dont l'idée première revient incontestablement à M. Bain : c'était la substitution d'une détente à l'ancre d'échappement dans la roue portant les types (caractères en relief) et la soumission des appareils récepteurs et transmetteurs à un même mouvement synchronique. Il en résultait que l'un des appareils étant arrêté, l'autre appareil se trouvait également arrêté dans le même moment; et comme la marche des aiguilles et des roues avait été synchronique dans l'intervalle de temps écoulé entre le déclanchement et l'embrayage des deux mécanismes, les signaux désignés par eux devaient être les mêmes.

C'est en juin 1844 que M. Wheatstone fit les premiers essais de son télégraphe en France sur le chemin de fer de

1. Il a été décrit avec détail dans la *Chimical Philosophy* (2e édit.), publiée par Daniell, en 1841.

Versailles. Voici ce qu'il dit lui-même dans une note lue à l'Académie des sciences le 9 juin 1845 :

« Le télégraphe électrique que j'ai eu l'honneur de soumettre à plusieurs membres de l'Académie en 1841, au Collége de France, grâce à la complaisance de M. Regnault, fonctionne depuis le commencement de cette année sur la ligne de Paris à Orléans pour les deux premières stations, et sur la ligne de Paris à Versailles, rive droite.

« Une communication télégraphique journalière est maintenant établie entre Paris, Saint-Cloud et Versailles.

« Les instruments actuellement en action à la gare de Paris consistent principalement :

« 1° En un réveil pour appeler l'attention du correspondant;

« 2° En un télégraphe qui présente tous les caractères de l'alphabet, au moyen desquels les mots peuvent être épelés, et les signaux télégraphiques transmis à raison de vingt-cinq signaux par minute;

« 3° En un télégraphe qui imprime à la fois plusieurs copies d'une dépêche en lettres ou chiffres ordinaires.

« D'autres instruments d'un usage spécial seront prochainement ajoutés à ceux qui précèdent.

« Sans entrer pour le moment dans une description détaillée de mes procédés, je me bornerai à faire remarquer que les appareils actuellement installés à Paris existent en Angleterre depuis 1837 et depuis 1840 dans leur dernière forme; ils ont été soumis aux plus rudes épreuves, et ils ont toujours triomphé.

« On a fait parcourir aux signaux un chemin de 352 milles anglais, soit 140 lieues de France, et ils se sont transmis avec la plus parfaite régularité, soit que le courant électrique ait été excité par la pile, soit qu'il l'ait été par des électro-aimants.

« Au moment de quitter Paris, je viens me mettre à la

disposition de ceux de MM. les membres de l'Académie qui désireraient voir fonctionner mes appareils. Quoique j'aie eu le plaisir de recevoir la plupart des membres de cette illustre académie, j'ai l'honneur de prévenir ceux qui n'auraient pas encore vu mes appareils, et qui souhaiteraient les voir fonctionner, que je serai à leur disposition mardi 10 juin, de midi à trois heures, à la gare du chemin de fer de Versailles, *rive droite*, *salle Nemours.* »

Je ne discuterai pas ici les causes qui firent écarter le système de M. Wheatstone, qui avait pourtant réalisé tous les résultats promis, ni ne raconterai, pour l'honneur de la France, les honteuses intrigues qui furent mises en œuvre à la Chambre des Députés pour faire rejeter une première fois le télégraphe électrique. Je me tairai également à l'égard des querelles qui survinrent entre M. Foy et M. Wheatstone, et au sein même de la commission chargée d'examiner cette affaire, car ce serait dévoiler ce triste esprit de coterie et de jalousie qui s'oppose en France au développement de toutes les inventions, et que nous retrouverons encore dans toute sa force dans plusieurs autres questions du même genre. Je dirai seulement que pendant que M. Wheatstone faisait ses essais, c'est-à-dire le 9 décembre 1844, un système télégraphique mixte, imaginé par MM. Foy et Breguet, était essayé entre Paris et Rouen, et ce fut lui qui reçut l'approbation du gouvernement. Nous aurons occasion de parler plus tard de ce système d'ailleurs très-ingénieux, et qui fait honneur à M. Breguet, mais qu'on devait abandonner plus tard pour des motifs que nous avons laissé déjà entrevoir au sujet du télégraphe Morse.

Après les essais télégraphiques qui avaient eu lieu en Angleterre, en Amérique, en Allemagne et en France, tous les savants et les mécaniciens les plus habiles des deux mondes se mirent à l'œuvre pour perfectionner les systèmes déjà connus et combiner d'autres applications électriques.

Cette question devint la question du moment, et étant tombée dans le domaine de l'industrie, elle put fournir en peu d'années des résultats qui dépassèrent tout ce que l'imagination aurait pu concevoir.

Arrivés au point où nous en sommes de l'histoire de la télégraphie électrique, nous ne suivrons plus dans notre travail l'ordre chronologique; je crois qu'il sera plus clair et plus compréhensible pour le lecteur de voir réunis ensemble tous les appareils ayant de l'analogie, et remplissant des fonctions analogues. C'est pourquoi nous répartirons les systèmes télégraphiques jusqu'à présent inventés dans six catégories : 1° les télégraphes à aiguilles; 2° les télégraphes à cadran; 3° les télégraphes écrivants; 4° les télégraphes électro-chimiques; 5° les télégraphes auditifs; 6° les télégraphes imprimeurs; 7° les télégraphes à double transmission des dépêches.

TÉLÉGRAPHES A AIGUILLES.

Télégraphes anglais à double aiguille de MM. Wheatstone et Cooke. — Malgré les perfectionnements remarquables que M. Wheatstone avait apportés à son premier télégraphe, lors de la prise de son brevet en 1840, la Compagnie télégraphique de Londres, à laquelle M. Wheatstone avait vendu son invention, aima mieux conserver le premier système, en lui apportant toutefois certaines simplifications qui furent en partie réalisées par M. Cooke (associé de M. Wheatstone). Au lieu de cinq galvanomètres on n'en conserva que deux, et pour obtenir avec les deux aiguilles de ces galvanomètres un nombre suffisant de signaux, on fit intervenir dans l'interprétation de ces signaux le nombre de battements ou de mouvements qu'on pouvait faire accomplir aux deux aiguilles dans leurs différentes positions. Avec ce système, le transmetteur à clavier que nous avons décrit devenait inu-

tile, et on lui substitua un double commutateur, à renversement de pôles que nous avons décrit page 268, 1er vol.

La figure 6, pl. I, représente une vue perspective de l'intérieur des télégraphes aujourd'hui en usage sur les lignes anglaises.

Les aiguilles indicatrices montées sur le même axe que les barreaux aimantés des deux galvanomètres se voient au milieu du cadran carré qui occupe le centre de l'appareil. Ces aiguilles sont aussi aimantées et placées de manière à constituer avec les barreaux aimantés deux systèmes compensés comme les galvanomètres de Nobili. Des deux côtés de leur extrémité supérieure se trouvent deux petites chevilles d'ivoire destinées à limiter l'étendue de l'oscillation du barreau aimanté et à faire mieux apprécier à l'oreille le nombre des battements. Pour des transmissions électriques rapides, il est important que la course accomplie par l'aiguille aimantée d'un galvanomètre soit la plus petite possible, car nous avons vu (page 304, 1er vol.) que, comme il fallait un certain temps pour que cette aiguille revienne à sa position normale, la déviation pouvait rester constante sous l'influence d'un courant interrompu, si ces interruptions étaient très-fréquentes. C'est pourquoi dans les télégraphes anglais les chevilles qui limitent la déviation des aiguilles ne leur permettent que 5 ou 6 degrés de déviation à partir de la verticale. Les manches des commutateurs se voient en M, M. Nous en avons figuré un en OM, vu en arrière du commutateur, dans la fig. 2, pl. IV, du premier volume.

L'alarme ou la sonnerie d'appel est renfermée dans la partie supérieure de l'instrument; elle peut être introduite dans le circuit de la ligne, ou retirée à l'aide d'une clef *m*, fig. 6, pl. I. Les ressorts TT′ appartiennent au commutateur appelé à réaliser cet effet. Le cadran S fait partie d'un appareil particulier auquel on a donné le nom d'*appareil*

silencieux, et qui est destiné à couper aux différentes stations le circuit de la ligne entière. Cet appareil est un double commutateur que l'on manœuvre à l'aide de l'aiguille indicatrice du cadran lui-même. Il se compose d'un cylindre de buis sur lequel appuient, d'un côté et de l'autre de son axe, quatre ressorts. Sur ce cylindre de buis, et suivant sa génératrice, se trouve appliquée une bande de cuivre, en rapport métallique avec le sol, et les ressorts aboutissent: les uns, ceux de droite, aux fils de la station de droite, les autres aux fils de la station de gauche, en introduisant toutefois dans les deux cas les galvanomètres de l'appareil dans les circuits ainsi complétés. Cette disposition, en confinant les signaux dans la moitié des fils, a l'avantage de laisser l'autre moitié à la disposition des autres stations.

Quand ce commutateur est dans une position déterminée, ce dont on est prévenu par l'index du cadran S qui indique alors *silence;* les deux fils des stations de droite et de gauche se trouvent réunis par l'intermédiaire des deux lames de cuivre dépendant du commutateur. Alors le courant ne passe plus par les galvanomètres de l'appareil, et la communication électrique se trouve établie d'une manière directe entre les deux stations extrêmes. Quand, au contraire, le commutateur est tourné d'un côté ou de l'autre de la division du cadran S indiquant sa position normale, la communication directe est établie entre l'appareil et l'une ou l'autre des stations. Enfin, quand le commutateur est dans sa position normale, les galvanomètres de l'appareil sont introduits dans le circuit de la ligne.

En outre des appareils précédents, les télégraphes anglais possèdent un système commutateur auquel on a donné le nom de *touches sonnantes*, et qui sert à régler le jeu des sonneries aux diverses stations échelonnées sur la ligne, afin qu'elles ne marchent pas toutes en même temps.

Ce commutateur consiste dans un petit disque de cuivre *c* (fig. 7, pl. I) percé dans son épaisseur, aux deux extrémités d'un même diamètre, de deux trous coudés qui ressortent supérieurement par sa surface en *t t'*. L'intérieur de chacun de ces trous est garni d'ivoire et renferme un gros fil recourbé à angle droit, dont un des bouts, celui qui correspond à la circonférence du disque, dépasse cette circonférence pour se terminer par un levier T, T', et dont l'autre bout est relié à la pile de la station. Le plus court de ces deux leviers T du commutateur est placé entre deux lames du ressort R, R' appuyées à l'état normal contre deux chevilles métalliques V, V', en rapport, l'une avec la station de gauche, l'autre avec la station de droite. Ces ressorts eux-mêmes communiquent entre eux par l'intermédiaire du fil de l'électro-aimant qui commande la sonnerie de la station où se trouve ce commutateur. Le plus long des deux leviers T' du même commutateur oscille entre deux arrêts A, A' appartenant à une même traverse communiquant avec la terre. Voici maintenant comment cet appareil est mis en action.

Quand on tourne, à l'aide d'un manche ou d'une clef, le disque *c* vers la droite, le ressort R' est soulevé, et le courant passe par ce ressort, du levier T à l'électro-aimant de la sonnerie de la station qui parle; il entre dans le fil de la station de gauche par le ressort R et la cheville V contre lequel ce ressort est appuyé, et rentre à la pile par la traverse AA' et le levier T'. Quand, au contraire, on tourne à gauche le disque *c*, le courant se trouve transmis à la sonnerie de la station de droite par le ressort R. Enfin, quand le disque *c* est dans sa position normale, à laquelle le ramène un fort ressort de rappel, la sonnerie de la station, où se trouve le commutateur que nous venons d'étudier, est interposée dans le circuit unissant les deux stations de gauche et de

droite par l'effet du contact des ressorts R et R′ avec les chevilles V V′.

Quant à l'alarme ou à la sonnerie en elle-même, elle consiste comme presque toutes les sonneries électriques télégraphiques en un mouvement d'horlogerie commandé par un électro-aimant et dont l'avant-dernier mobile, en réagissant sur une ancre d'échappement, transmet à celle-ci un mouvement de va-et-vient qui, par l'intermédiaire d'une tige à ressort, agite avec force un double marteau placé à portée du timbre.

On a, du reste, varié de mille manières les mécanismes des carillons : quelquefois le marteau est extérieur et ne frappe qu'un coup, par suite de l'échappement d'un pied de biche en limaçon; quelquefois les marteaux sont articulés aux extrémités d'une petite traverse fixée par son milieu sur l'axe de la roue de détente; au lieu d'un crochet de détente enrayant la roue d'échappement; c'est quelquefois une pointe qui s'engage dans un trou pratiqué sur la circonférence de cette roue. Souvent aussi l'arrêt est un ressort entaillé qui retient le bras qui porte le marteau : quand dans le mouvement de l'armature le ressort est retiré de l'entaille, le bras tombe et carillonne comme le réveil d'une comtoise.

M. Walker, directeur des télégraphes anglais, a été conduit par l'expérience à ajouter à l'appareil que nous venons de décrire quelques petits accessoires assez insignifiants, il est vrai, au point de vue théorique, mais fort importants dans la pratique. Ces accessoires sont 1° des chevilles mobiles et en second lieu des bobines mobiles.

Les chevilles mobiles ont été introduites en vue de permettre la correspondance télégraphique dans les cas où des courants accidentels viendraient à affecter la ligne d'une manière assez énergique, pour faire buter en temps normal l'aiguille indicatrice des récepteurs contre l'une ou l'autre des chevilles d'arrêt. Dans ce cas, comme on le

[illegible] L. Walker [illegible] de la [illegible] de la déviation de [illegible] [illegible] [illegible]

question spéciale qui est en dehors du but que je me suis proposé dans cet ouvrage. On pourra du reste, trouver tous les renseignements nécessaires à cet égard, dans l'excellent traité de télégraphie de M. l'abbé Moigno. Nous croyons plus utile pour le moment, de donner quelques renseignements sur le vocabulaire du télégraphe à deux aiguilles adopté en Angleterre.

A. Deux mouvements vers la gauche de l'aiguille de gauche.

B. Trois mouvements, *id.* *id.* *id.*

C et le chiffre 1. Deux mouvements de l'aiguille de gauche, le premier à gauche, le second à droite.

D et 2. Deux mouvements de l'aiguille de gauche, le premier à droite, le second à gauche.

E et 3. Un seul mouvement de l'aiguille de gauche vers la droite.

F. Deux mouvements à droite de l'aiguille de gauche.

G. Trois mouvements de l'aiguille de gauche vers la droite.

H et 4. Un mouvement vers la gauche de l'aiguille droite.

I. Deux mouvements vers la gauche de l'aiguille droite.

J. Est omis, on le remplace par G.

K. Trois mouvements vers la gauche de l'aiguille droite.

L et 5. Deux mouvements de l'aiguille droite, le premier à droite, le second à gauche.

M et 6. Deux mouvements de l'aiguille droite, le premier à gauche, le second à droite.

N et 7. Un seul mouvement vers la droite de l'aiguille droite.

O. Deux mouvements vers la droite de l'aiguille droite.

P. Trois mouvements vers la droite de l'aiguille droite.

Q. Est omis, on lui substitue K.

R et 8. Mouvements parallèles vers la gauche des deux aiguilles.

S. Deux mouvements parallèles vers la droite des deux aiguilles.

T. Trois mouvements parallèles vers la gauche des deux aiguilles.

U et 9. Deux mouvements parallèles des deux aiguilles, le premier à droite, le second à gauche.

V et 0. Deux mouvements parallèles des deux aiguilles, le premier à gauche, le second à droite.

W. Un mouvement parallèle des deux aiguilles vers la droite.

X. Deux mouvements parallèles des deux aiguilles vers la droite.

Y. Trois mouvements parallèles des deux aiguilles vers la droite.

Z. Est omis, on lui substitue S.

Le signe + appelé *stop* est le point final, par lequel celui qui envoie la dépêche, annonce que le mot est fini; il s'indique par un mouvement de l'aiguille gauche vers la gauche. Ce signe sert aussi à celui qui reçoit la dépêche pour indiquer qu'il ne comprend pas. Quand il comprend, il montre la lettre E. Deux fois E signifie oui.

Modifications apportées au télégraphe à aiguilles, de M. Wheatstone, par M. Glœsener. — Pour augmenter la sensibilité des télégraphes à aiguilles, M. Glœsener a imaginé d'adjoindre au multiplicateur du récepteur, deux électro-aimants dont l'hélice magnétisante est la continuation du multiplicateur, et de faire réagir ce double organe électro-magnétique sur un système de trois aiguilles aimantées, dont deux se compensent mutuellement. Chacun des deux électro-aimants réagit sur un pôle différent de ces aimants, et leur distance d'attraction ne doit jamais être moindre d'un centimètre, afin que le magnétisme réma-

nent et l'influence des aiguilles sur le fer n'empêchent pas le système magnétique de revenir au repère, après chaque rupture du courant. Cette distance du reste peut, d'après les expériences de M. Glœsener, convenir à de grandes comme à de petites longueurs de circuit, et à des forces électriques très-variables. M. Glœsener estime que cette modification au système primitif de M. Wheatstone augmente *du double* la force de l'appareil. Nous avons décrit page 229, 1er vol., un système électro-magnétique de ce genre (voir fig. 8, Pl. I).

Le manipulateur de ce télégraphe, présente aussi une particularité: la manivelle, au lieu de rester fixe du côté où elle a été tournée, est ramenée toujours au repère par l'action d'un fort ressort agissant sur une coche à la manière d'une étoile d'encliquetage. Son commutateur est aussi plus simple que celui des télégraphes anglais. Il consiste simplement dans deux lames de ressort *a*, *b* (fig. 8, Pl. I), appuyées contre une traverse métallique L, mise en rapport avec le pôle négatif de la pile. L'autre pôle de cette pile correspond à l'axe isolé V du manipulateur, et les deux forts ressorts *a* et *b*, sont en rapport avec le circuit de la ligne. Le jeu de ce commutateur s'explique aisément. Quand on incline la bascule A à gauche, la dent *n* repoussera le ressort *a* qui viendra buter contre l'arrêt *r*; alors le courant ira de la bascule au ressort *a*, entrera dans le circuit de la ligne, et reviendra à la pile par le ressort *b* et la traverse L; aussitôt le ressort R appuyant sur la came *m* fera revenir le manipulateur à sa position initiale. Quand au contraire, on inclinera la bascule A à droite, le courant entrera dans le circuit par le ressort *b* et reviendra à la pile par le ressort *a* et la traverse L.

En Belgique, on représente la déviation vers la gauche de l'aiguille de ces télégraphes, par la lettre *l*, et la déviation vers la droite par la lettre *r*. Ces lettres répétées plu-

sieurs fois, signifient qu'il faut répéter le battement ou l'action du commutateur dans le même sens. Voici l'alphabet adopté en Belgique pour les télégraphes à une et à deux aiguilles.

ALPHABET A UNE AIGUILLE

+ = *l*	k = *lrl*	t = *rrrl*
a = *ll*	l = *lrlr*	u = *rll*
b = *lll*	m = *r*	v = *rrrl*
c = *llll*	n = *rr*	w = *rll*
d = *lr*	o = *rrr*	y = *rlr*
f = *llllr*	p = *rrrr*	x = *lrlr*
g = *lrr*	q = *lrl*	z = *rrl*
h = *llrr*	r = *rl*	
i = *rrr*	s = *rrl*	

ALPHABET A DEUX AIGUILLES

AIGUILLE DE GAUCHE		AIGUILLE DE DROITE		MOUVEMENTS PARALLÈLES SIMULTANÉS [1]		
+ = *l*	d = *lr*	h = *l*	m = *lr*	r = *l*	u = *rl*	x = *rr*
a = *ll*	e = *r*	i = *ll*	n = *r*	s = *ll*	v = *lr*	y = *rrr*
b = *lll*	f = *rr*	k = *lll*	o = *rr*	t = *lll*	w = *r*	z = *s*
c = *rl*	g = *rrr*	l = *rl*	p = *rrr*			

ALPHABET POUR CHIFFRES

1 = c	6 = m
2 = d	7 = n
3 = e	8 = r
4 = h	9 = u
5 = i	0 = v

La lettre *z* est omise, et remplacée par la lettre *s*; la lettre *q* est également omise, et remplacée par *k*. Les chiffres sont représentés par les mêmes mouvements que les lettres; seulement le passage des lettres aux chiffres s'indique par les signes *h* et +, qui sont répétés par la personne qui reçoit, afin de faire savoir qu'elle a compris, lorsque le

1. Les lettres sont indiquées par les parties inférieures des aiguilles suspendues au-dessus de leur centre de gravité; *l* indique le mouvement vers la gauche, et *r* le mouvement vers la droite.

télégraphiste veut repasser des chiffres aux lettres, il donne les signes *m* et +, qui sont de même répétés par l'autre station.

La personne qui reçoit, transmet après chaque mot reçu, la lettre *e*, quand elle a compris, et le signe + si elle n'a pas compris, et alors le même mot est répété par celui qui transmet. Par les lettres *r* et *w* on indique les phrases, attendez, allez plus loin.

Télégraphe à aiguille de M. Bain. — Ce télégraphe, qui a été installé, en 1846, sur la ligne d'Édimbourg à Glascow, est fondé sur un principe tout à fait différent de ceux que nous avons jusqu'aprésent étudiés. Dans cet appareil, l'organe électro-magnétique consiste dans deux bobines magnétisantes BB′, fig. 11, pl. I, réagissant sur deux aimants persistants, hémicirculaires, enfoncés par leurs extrémités polaires à l'intérieur de ces bobines. Ces aimants circulaires, fixés sur une traverse de cuivre AA′ de manière à constituer un cercle, ne sont séparés l'un de l'autre que par un espace de quelques millimètres, et présentent d'un même côté des pôles semblables. Les extrémités polaires de ces aimants, ainsi que l'intervalle qui les sépare, ne se distinguent sur la figure que par des lignes pointillées, parce qu'elles sont, comme je l'ai déjà dit, enfoncées à l'intérieur des bobines. L'aiguille indicatrice *aa′*, qui apparaît en dehors de l'instrument, est placée sur l'axe d'oscillation de la traverse AA′, et perpendiculairement à elle.

Le manipulateur de ce télégraphe est un simple commutateur à renversement de pôles que l'on manœuvre à l'aide d'une manivelle M, comme celui de M. Wheatstone. A cet effet, cette manivelle porte deux ressorts arqués, isolés l'un de l'autre, qui s'appuient chacun sur un commutateur circulaire composé de plaques de cuivre et d'ivoire. Ces plaques, au nombre de 8, se distinguent aisément sur la figure.

Enfin, deux forts ressorts à boudin R et R′ ramènent toujours la manivelle M suivant la verticale.

Pour comprendre le jeu de ce télégraphe, il faut savoir, 1° que les plaques extrêmes *l* et *l′* du côté gauche du commutateur communiquent avec la pile; 2° que les deux plaques extrêmes du côté droit *h*, *h′* correspondent l'une et l'autre aux bobines magnétisantes B, B′, et, par leur intermédiaire, au circuit de la ligne; 3° que les plaques *i i′* du milieu sont reliées diagonalement avec les plaques *l l′*; 4° que les plaques *e e′* communiquent ensemble; 5° que les ressorts de la manivelle ont une longueur et une position calculées pour appuyer toujours sur les plaques extrêmes du côté droit, de quelque côté qu'on incline la manivelle.

D'après cela, on conçoit que si l'on tourne à droite la manivelle, comme l'indique la figure, le courant entre dans les bobines des récepteurs de la station éloignée par la plaque *h*, les bobines B B′, et revient à la pile par la terre et la plaque *h′*. Quand, au contraire, on incline à gauche la même manivelle, le courant entre dans le circuit par la terre et revient par le fil de la ligne, les bobines B B′ et la plaque *h*. Quand la manivelle est dans la position verticale, le circuit de la ligne à travers les bobines B B′ est complet, et par conséquent le récepteur de la station peut recevoir les dépêches qui lui sont envoyées. Voici maintenant quelle est la réaction qui s'opère au moment où le courant traverse les bobines magnétiques :

Quand ce courant est dirigé de manière à marcher à travers les spires des hélices dans le même sens que le courant magnétique à travers l'aimant A, il y a attraction de cet aimant à l'intérieur des bobines et répulsion de l'autre. Ces deux aimants sont donc mis en mouvement et tendraient à tourner jusqu'à ce qu'ils aient présenté symétriquement leurs pôles aux deux extrémités des hélices? Mais ceci n'a pas lieu d'abord, parce que le courant transmis

n'est pas assez fort, et, en second lieu, parce que l'aiguille indicatrice qui suit le mouvement de ce système, a sa course limitée comme dans le télégraphe anglais. Quand le courant change de sens, c'est l'aimant A′ qui est attiré et l'aimant A qui est repoussé.

L'alarme de l'appareil de M. Bain se compose simplement d'un timbre et d'un marteau dont la tige sollicitée par un ressort se prolonge un peu au delà de son point d'articulation, et repose sur l'axe de l'aiguille. Cet axe porte près du point d'appui de cette tige une coche qui, en temps ordinaire, se trouve tournée de côté, mais qui se présente sous la tige lorsque le courant fait marcher l'appareil. Le marteau est alors dégagé et retombe avec force sur le timbre.

Ce système télégraphique a été quelque peu modifié dans son application en Autriche par M. Ekling de Vienne, qui a voulu en faire un télégraphe auditif à deux timbres, comme celui de M. Steinheil. Pour cela, il a fixé sur le prolongement de l'axe de l'aiguille indicatrice un petit levier placé entre deux timbres de sons différents. Lorsque l'aiguille était déviée d'un côté, le timbre correspondant signalait cette déviation, et quand elle était déviée du côté opposé c'était l'autre timbre qui retentissait. Le même mécanicien a aussi substitué au manipulateur que nous avons décrit un commutateur inverseur à deux touches, que nous avons représenté fig. 11 *bis*, pl. I. Ce commutateur consiste dans deux leviers de bois ou d'ivoire IF, EG, basculant en K et L, et réagissant sur trois doubles ressorts HM, AB, CD, fixés en O′O′O″ au-dessus de lames métalliques A, B′, H, C, D, M incrustées dans la planche. Ces leviers sont maintenus à l'état normal, abaissés sur le ressort HM par l'action de deux contre-poids F, G; par conséquent, les extrémités I et E sont soulevées en l'air, et les ressorts AB, CD n'appuient pas sur les plaques correspondantes qui com-

muniquent entre elles, et avec le récepteur, comme on le voit sur la figure. Il résulte de cette disposition que quand on appuie le doigt sur la bascule I F, le courant entre dans le circuit de la ligne par la plaque B et ressort par la plaque A, qui communique avec la terre; tandis que, quand on appuie sur la touche G E, le courant entre par la plaque A et revient par la plaque B; quand on n'appuie sur aucune des deux touches, le courant se trouve fermé à travers le récepteur de la station par le ressort H M.

Télégraphe à aiguille de M. Henley. — M. Henley, qui s'est occupé spécialement et avec beaucoup de succès des machines magnéto-électriques, ainsi que nous l'avons vu page 364, 1er vol., est parvenu à les appliquer de la manière la plus avantageuse aux télégraphes à aiguilles. Sans doute il n'est pas le premier qui ait tenté d'appliquer la magnéto-électricité à la télégraphie, mais on peut le considérer comme étant celui qui a le mieux réussi dans ce genre d'application.

La figure 10, pl. I, représente le manipulateur de ce télégraphe. Il consiste dans un électro-aimant E E′ pouvant tourner devant les pôles d'un fort aimant permanent en fer à cheval F. En temps ordinaire, cet électro-aimant à travers les bobines duquel naît le courant d'induction se trouve maintenu horizontalement devant l'aimant fixe, position à laquelle tend toujours de le ramener un fort ressort à boudin. Une pédale en ivoire T, qui ressort en dehors de la boîte de l'appareil, permet, au moyen d'une simple pression, d'écarter l'électro-aimant de l'aimant fixe et de développer ainsi un courant direct d'induction à travers le circuit de la ligne. Toutefois pour donner à ce courant toute l'énergie dont il est capable, un interrupteur particulier se trouve adapté à l'appareil. Cet interrupteur se compose d'un petit appendice de platine, fixé sur la traverse C de l'électro-aimant et d'un ressort métallique maintenu à portée de cet appendice,

par une petite colonne de cuivre. L'une des extrémités du fil induit, aboutit à l'appendice dont nous venons de parler, tandis que la lame de ressort est en rapport avec le circuit de la ligne. Le ressort à boudin en communication avec le sol et les bobines de l'électro-aimant complètent le circuit. A l'état de repos, la lame de ressort et l'appendice sont en contact intime l'un avec l'autre, mais après qu'on a abaissé la touche T, la séparation de ces deux pièces a lieu et le circuit est rompu. Dans cet intervalle de temps, un courant énergique a sillonné la ligne, et a fait fonctionner l'appareil récepteur.

Le récepteur peut être à simple aiguille ou à deux aiguilles; seulement dans ce dernier cas, il faut employer deux manipulateurs distincts, ou celui que nous avons décrit page 364, 1er vol. Cette aiguille ou ces aiguilles, au lieu de fonctionner sous l'influence d'un multiplicateur galvanométrique sont soumis à l'action plus caractérisée d'un électro-aimant, action qui est encore renforcée par une disposition particulière que M. Henley a adoptée pour les pôles de ses électro-aimants. La fig. 9, pl. I, représente cette disposition, qui consiste dans deux pièces semi-circulaires en fer, A B, C D fixées par leur milieu sur les pôles G et H de l'électro-aimant. L'aiguille aimantée N S se trouve à l'intérieur du cercle formé par ces deux pièces semi-circulaires, et est soumise à l'action de quatre pôles réagissant dans le même sens. En effet, par leur contact avec les pôles des électro-aimants les pièces A B, C D partagent leur état magnétique et constituent en A et B, deux pôles sud par exemple, et en C et D deux pôles nord; sous l'influence du pôle A, l'aiguille N S dont le pôle nord est en N, sera attirée vers la gauche, et sous l'influence du pôle C, elle sera repoussée vers la droite, de même qu'elle sera repoussée vers la gauche par le pôle B, et attirée vers la droite par le pôle D. Toutes ces réactions seront renversées aussitôt que le transmetteur reviendra à sa position normale, car alors un

courant inverse sera créé, et ce courant n'aura d'action en raison de son peu de durée, que pour ramener l'aiguille à sa position initiale; c'est ce qui fait que dans ces sortes de télégraphes à aiguille, on ne peut utiliser les mouvements de l'aiguille que dans un seul sens.

L'axe auquel est fixée l'aiguille aimantée, porte l'aiguille indicatrice qui montre en dehors de l'appareil les mouvements de l'aiguille intérieure. Afin de pouvoir amener celle-ci à sa position d'équilibre, une vis sans fin fait tourner l'électro-aimant sur son axe, par l'intermédiaire d'une roue dentée; on peut changer ainsi la position des pièces semi-circulaires par rapport à l'aiguille.

Les signaux employés pour ce télégraphe, sont à peu près ceux du télégraphe Morse. Ils sont gravés sur le cadran de l'appareil. Une double oscillation correspond à un point, un temps d'arrêt correspond à une ligne. Pour produire la double oscillation de l'aiguille, on abaisse la touche du manipulateur et on l'abandonne aussitôt. Le premier courant créé dans les bobines d'induction, fait dévier l'aiguille, et le second qui est de sens contraire, la ramène au repère. Pour faire faire un temps d'arrêt à cette aiguille, on tient quelque temps abaissée la touche du manipulateur. Bien que le courant d'induction n'existe plus alors, la déviation de l'aiguille subsiste, parce que le magnétisme développé dans l'électro-aimant ne cesse pas instantanément, et que d'ailleurs la réaction de l'aiguille aimantée sur le fer suffit pour la maintenir inclinée. Ce n'est que lorsque la touche se relève que le magnétisme change et que l'aiguille revient au repère.

L'alarme que M. Henley a joint à son télégraphe se compose de deux timbres placés à portée d'un barreau aimanté soumis aux mêmes réactions magnétiques que l'aiguille elle-même du récepteur, dont il reproduit les mouvements tout en frappant le timbre.

Ce télégraphe exige peu de force pour agir et l'emporte, comme je le disais, sur les autres télégraphes magnéto-électriques par la rapidité de sa marche, c'est-à-dire par la quantité de signaux qu'il peut transmettre par minute. La faculté qu'il possède d'émettre presque simultanément des courants de sens contraire peut le rendre susceptible d'application sur les lignes sous-marines et souterraines, au sein desquelles se manifestent, comme nous l'avons vu, plusieurs réactions d'induction qui paralysent souvent la marche des autres télégraphes.

Il est presque inutile d'ajouter que ce télégraphe, comme ceux de M. Wheatstone, est muni de deux chevilles pour limiter les écarts des aiguilles et amortir les oscillations.

Télégraphes à aiguilles de MM. Foy et Breguet. — Désirant conserver les signaux usités dans le service télégraphique déjà établi et le personnel attaché à ce service, l'Administration des télégraphes du gouvernement français a voulu établir ses télégraphes électriques dans le système Chappe Or, pour atteindre ce but, il a fallu employer deux aiguilles et deux fils. Il est vrai qu'en échange ces deux télégraphes ainsi réunis en un seul, et fonctionnant au besoin indépendamment l'un de l'autre, pouvaient transmettre les signaux avec une plus grande rapidité[1] et devaient présenter une garantie plus sûre pour la transmission des dépêches, eu égard aux accidents qui peuvent survenir sur le parcours de la ligne. Quoi qu'il en soit des avantages et des inconvénients des télégraphes électriques français imaginés par MM. Foy et Breguet, voici comment ils ont été disposés :

Une caisse carrée de bois, fig. 12, pl. I, sur laquelle se trouve fixé un cadran carré ABCD, où se meuvent les aiguilles, renferme deux mécanismes d'horlogerie à 4 mobiles

1. Certains employés vont jusqu'à faire 240 signaux par minute, ce qui équivaut à 50 mots.

exactement semblables et placés parallèlement l'un à côté de l'autre, fig. 14, pl. I. Le dernier de ces mobiles, une roue à rochet de 4 dents, est commandé par une fourchette d'échappement K portée par un axe horizontal sur lequel réagit, par l'intermédiaire d'une petite fourche *c* et d'un levier *l*, l'armature d'un électro-aimant A. La fourchette d'échappement de ce télégraphe a une disposition particulière que du reste M. Breguet a adoptée dans tous ses autres systèmes télégraphiques : elle consiste dans deux lames *ab*, *bc*, fig. 13, portées par un levier *bd* et placées, par rapport à la roue à rochet qu'elle commande, de manière que ses mouvements s'exécutent normalement à son plan. C'est, comme on le voit, à peu près le même système que l'échappement à chevilles, sauf que les chevilles de ce dernier échappement se trouvent ici remplacées par des dents de rochet. Il paraît que ce système entraîne beaucoup moins de frottements et exige un mouvement beaucoup moins grand de la part de la fourchette.

D'après cette disposition de l'appareil de M. Breguet, on comprend que les aiguilles qui sont fixées sur l'axe de la roue d'échappement ne peuvent prendre que 8 positions différentes sur le cadran, mais ces huit positions combinées entre elles, à l'égard d'une traverse horizontale qui réunit ces aiguilles, fournissent 64 combinaisons ou signaux différents, tout à fait semblables à ceux du télégraphe aérien, car ces aiguilles représentent en quelque sorte les petites ailettes qui se replient aux deux bouts de la grande traverse articulée sur le support du télégraphe Chappe. Seulement, celle-ci est fixe dans le télégraphe électrique, mais certains signes additifs désignent si elle doit être prise dans le sens horizontal ou vertical. Nous verrons plus tard que M. Breguet, dans son premier système télégraphique, était même parvenu à rendre mobile cette traverse et à représenter ainsi complétement le télégraphe Chappe.

Le manipulateur du télégraphe à aiguilles français est comme le récepteur composé de deux parties indépendantes et semblables; chacune d'elles, représentée fig. 15, est en rapport avec un des côtés du récepteur par un fil spécial. Ordinairement ce double manipulateur est placé en avant de la boîte de l'appareil.

Comme on le voit sur la figure 15, cet appareil se compose de deux disques D et R, l'un fixe, l'autre mobile, montés sur une colonne, et qui réagissent sur un levier L constituant un interrupteur.

Le disque D, qui est fixe, porte sur la circonférence huit échancrures dans lesquelles peut être introduite une dent adaptée sous le bras de la manivelle M. A cet effet, celle-ci peut céder à un petit mouvement autour d'un centre placé à l'extrémité de l'axe de rotation, de sorte que l'on peut la tirer à soi pour faire sortir la dent du cran, dans lequel elle se trouve pour le remettre dans un autre; un ressort la pousse continuellement dans ce sens, afin qu'elle ne puisse changer de position qu'à la volonté de l'employé.

A l'aide de ces crans on peut fixer la manivelle dans huit positions différentes, et ces positions correspondent exactement à celles que prend l'aiguille correspondante sur le cadran du récepteur. Voici comment s'opère la transmission.

Le disque R est mobile avec l'axe sur lequel est fixée la manivelle M, et qui tourne dans la douille D R. Sur la face intérieure du disque est creusée une rainure carrée dans laquelle est introduite une forte cheville portée par le levier C. Ce levier C est fixé à un axe horizontal C C′ qui porte en C′ une tige L, terminée par une lame de ressort.

Enfin, des deux côtés de cette lame de ressort se trouvent deux dés métalliques isolés K K′, l'un en rapport avec la pile, l'autre en rapport avec l'appareil récepteur de la station. Une communication établie entre la colonne du

support et le fil de la ligne complète l'interrupteur, qui fonctionne de la manière suivante :

Quand la manivelle est au repos, c'est-à-dire dans une position horizontale, le levier L touche le contact K. Dans cette position, si un courant est envoyé de l'autre station, il vient par le fil de la ligne, entre dans la base de la colonne, passe par l'axe C′, suit la tige L, puis sort par K pour aller au récepteur par un fil conducteur ; il y a alors aimantation, l'aiguille avance d'un pas, et un signal est produit.

Pour cela, il a fallu que l'employé de la station éloignée fît avancer la manivelle M d'un cran ou d'un huitième de tour.

Dans ce mouvement le disque R a fait mouvoir le levier L, lui a fait quitter le contact K pour aller se reporter sur le contact K′ qui est relié à la pile. Aussitôt le courant passe de K′ en L, par la colonne, arrive au fil de la ligne, et l'effet ci-dessus expliqué est produit.

On voit d'après cela que le levier L est disposé pour recevoir le courant envoyé chaque deux crans à partir du point de départ.

Dans le bas du récepteur on voit passer deux petites tiges de cuivre ; on leur a donné le nom de pédales ; elles donnent à l'employé la facilité de corriger les erreurs qui peuvent survenir pendant la transmission. Ces erreurs peuvent être causées soit par un mauvais état momentané de la ligne, soit par les courants accidentels, soit par l'employé, et l'appareil aussi peut manquer. Mais la correction est si facile et si rapide qu'un petit coup de doigt donné sur cette pédale ne fait pas perdre de temps. Cette correction se fait toujours en faisant avancer l'aiguille, car, par la construction du mécanisme, les erreurs ne peuvent exister que dans le sens du retard. On voit encore dans la figure 12, des deux côtés du cadran, deux petits cercles divisés auprès desquels pendent deux petites clefs. Ce sont les deux régu-

lateurs des ressorts antagonistes. Enfin, les deux trous que l'on distingue au-dessous des aiguilles renferment les carrés des barillets au moyen desquels on remonte les mécanismes d'horlogerie.

La fig. 16, pl. I, représente les différents signaux du télégraphe Foy-Breguet correspondants aux différentes lettres de l'alphabet. On voit qu'ils sont très-simples et très-nets. En n'employant qu'une seule aiguille, ces signaux deviennent plus compliqués, car ils se font alors en deux temps, et l'on est obligé de figurer successivement les deux angles télégraphiques que contient le signal. Pourtant la vitesse de transmission n'est pas diminuée autant qu'on le croirait, et certains employés parviennent avec une seule manivelle aux deux tiers de la vitesse que l'on atteint ordinairement avec deux.

Nous verrons plus tard les accessoires des télégraphes électriques français et la manière dont est disposé un poste télégraphique, quant à présent nous nous bornons à étudier les appareils.

Télégraphe à aiguilles de M. Breguet à signaux anciens. — Pour obtenir le jeu de la barre horizontale unissant les deux aiguilles du télégraphe précédent et rendre ainsi le télégraphe électrique entièrement semblable au télégraphe aérien, M. Breguet avait imaginé dans l'origine d'ajouter au mécanisme que nous avons décrit, ou du moins au mécanisme qui en tenait lieu (car les échappements étaient différents) un troisième électro-aimant de la forme indiquée fig. 20, pl. II, 1er vol. Une palette aimantée oscillant entre les pôles de cet électro-aimant se terminait à son extrémité libre par un secteur denté engrenant avec un pignon, de telle manière que pour chaque mouvement exécuté par la palette, ce pignon pût tourner d'un quart de révolution. C'était sur l'axe de ce pignon qu'était montée la traverse ou plutôt la troisième aiguille qui unissait les deux autres,

et son jeu dépendait uniquement du sens du courant traversant l'électro-aimant additionnel. Comme cet électro-aimant était en communication avec les deux autres, suivant qu'on envoyait de la station éloignée le courant dans un sens ou dans l'autre, on faisait placer cette troisième aiguille dans une position horizontale ou verticale sans que pour cela la marche des autres aiguilles en fût troublée. Cette inversion facultative s'obtenait au moyen d'un commutateur à renversement de pôles adapté aux manipulateurs dont nous avons parlé.

TÉLÉGRAPHES A CADRAN.

Télégraphes de M. Wheatstone.— Nous avons vu, page 18, que M. Wheatstone, en perfectionnant successivement son premier télégraphe était parvenu dès l'année 1840, à établir un appareil dans lequel une aiguille indicatrice commandée par un électro-aimant, pouvait désigner sur un cadran tel ou tel signe, suivant le nombre de mouvements que l'action électrique lui avait imprimés. Nous avons également vu que M. Wheatstone avait résolu le problème de deux manières, soit en faisant réagir directement l'électro-aimant sur une roue d'échappement, de manière à la faire tourner successivement comme nous l'avons expliqué page 341, 1er vol., soit en dégageant, à diverses reprises, cette roue d'échappement sollicitée à se mouvoir dans un sens déterminé par un mécanisme d'horlogerie.

Dans le premier de ces deux systèmes, la réaction de l'armature sur l'électro-aimant était opérée à l'aide d'un cliquet d'impulsion et d'un crochet réagissant sur une roue à rochet ordinaire, aux deux extrémités opposées d'un même diamètre. Lorsque l'armature était attirée, le crochet abaissait la dent du rochet contre laquelle il était en prise, et la roue avançait d'une dent ; quand au contraire

l'armature se relevait, le cliquet d'impulsion poussait de nouveau le rochet, qui avançait encore d'une dent. Ainsi, un mouvement de rotation saccadé était communiqué à l'aiguille ou au cadran, et ce mouvement dépendait du nombre d'interruptions et de fermetures de courant que le transmetteur avait effectués.

Depuis l'apparition de ce système télégraphique, bien des appareils du même genre, fondés sur le même principe ont été construits; mais dans tous ces appareils, le cliquet et le crochet d'impulsion dont nous venons d'étudier les fonctions, ont été remplacés par une fourchette d'échappement. Je ne sais jusqu'à quel point cette substitution a été heureuse et raisonnée, car avec les moyens que nous avons décrits page 341, 1er vol., la force motrice est obligée de se décomposer, tandis que dans le système de M. Wheatstone, elle est transmise intégralement.

Le transmetteur de ce système de télégraphe adopté par M. Wheatstone, était formé d'un cercle de cuivre se mouvant librement autour d'un pied aussi de cuivre. La circonférence de ce cercle portait douze entailles remplies avec des morceaux d'ivoire, de sorte qu'elle présentait des intervalles égaux de substance conductrice et non conductrice. Un ressort appuyait contre cette circonférence, tandis qu'un autre conduisait le courant au cercle de cuivre lui-même. Le premier communiquait à l'appareil récepteur que nous avons décrit. La surface supérieure du cercle portait des caractères correspondant à ceux du cadran du récepteur, et en plus vingt-quatre petites broches destinées à faciliter le mouvement de rotation à l'aide du doigt. Une aiguille fixe placée à portée de ce manipulateur servait de repère, et on devait amener successivement devant ce repère, les différentes lettres qu'on voulait signaler. Dans ce mouvement, le ressort appuyant sur la circonférence du cercle manipulateur se trouvait alternativement en con-

tact avec une partie métallique et une partie isololante ; il fermait par conséquent, et rompait alternativement le courant un d'autant plus grand nombre de fois que la lettre à signaler était plus éloignée du repère, ou de la lettre qui l'avait précédée. Or ce nombre de fermetures et d'interruptions de courant était précisément celui nécessaire pour faire arriver l'aiguille devant la lettre voulue.

Le second système de M. Wheatstone avait pour organe moteur un mécanisme d'horlogerie à trois mobiles, dont l'ancre d'échappement était commandée par deux électro-aimants placés verticalement des deux côtés de son axe d'oscillation ; une traverse de cuivre fixée transversalement sur cet axe, portait à ses deux extrémités les deux armatures de ces électro-aimants, de sorte que quand le courant venait à animer l'un ou l'autre de ces derniers, l'ancre se trouvait inclinée d'un côté ou de l'autre, et provoquait par là l'échappement d'une dent de la roue à rochet commandant le mécanisme d'horlogerie, et le mouvement de l'aiguille indicatrice sur le cadran. Pour obtenir l'avancement saccadé et successif de cette aiguille, il ne s'agissait donc que de transmettre successivement le courant de l'un à l'autre des deux électro-aimants, et pour cela il a fallu compliquer le manipulateur dont nous avons parlé précédemment, d'un système commutateur analogue à celui décrit page 258, 1er vol.

Télégraphe à cadran de M. Breguet. — Ce télégraphe, qui n'est qu'une modification heureuse de celui que nous venons d'étudier, est celui de tous les télégraphes qui est le plus employé en France tant pour le service des chemins de fer que pour les services industriels et les usages domestiques. Il marche d'une manière tout à fait satisfaisante, et, quoi qu'en disent les Allemands et les Anglais, il est bien supérieur à tous ceux du même genre qui sont en usage à l'étranger.

Le récepteur de ce télégraphe est représenté vu de côté (fig. 18, pl. I).

E est l'électro-aimant qui commande le mécanisme d'horlogerie destiné a entraîner l'aiguile indicatrice ;

P est l'armature de cet électro-aimant à laquelle est fixé le levier L qui réagit par l'intermédiaire d'une fourchette sur un axe portant la fourchette d'échappement;

r est la roue d'échappement ;

V est une forte vis de rappel servant à approcher ou à éloigner l'électro-aimant de son armature ;

BB sont les rouages du mouvement d'horlogerie mus par un barillet et commandés par la roue à rochet *r;*

KK est le cadran;

A est l'aiguille indicatrice placée sur l'axe de la roue d'échappement ;

vv sont des vis qui servent à régler le mouvement de va-et-vient du levier L;

C représente le système d'écrou au moyen duquel les bobines de l'électro-aimant sont fixées sur son support. Comme ces bobines ne peuvent bouger sous l'influence de la vis V, ce sont les cylindres de fer de l'électro-aimant qui, en glissant à frottement dans le canon des bobines cèdent à l'action de cette vis V;

O est le centre de mouvement d'un levier que l'on fait mouvoir du dehors de la boîte renfermant l'appareil au moyen d'un bouton, lorsque l'on veut faire fonctionner à la main ce télégraphe ou que l'on veut ramener l'aiguille indicatrice au repère;

s est le ressort antagoniste;

D est une pièce de cuivre qui maintient l'axe de la poulie;

Enfin, G et G′ sont des boutons d'attache dont les derniers G′ correspondent aux deux extrémités du fil de l'électro-aimant; les deux autres, placés extérieurement à la boîte, sont en rapport avec le circuit de la ligne.

En outre de ces organes mécaniques, le récepteur des télégraphes Breguet porte sur sa boîte : 1° le bouton pédale destiné à ramener à la main, devant le repère, l'aiguille indicatrice; 2° un petit cadran circulaire portant 50 divisions, et dont le centre est traversé par un axe à bout carré en rapport avec le ressort antagoniste. En tournant d'un côté ou de l'autre cet axe, à l'aide d'une clef, on serre ou l'on desserre ce ressort. Une aiguille, portée par cet axe, indique sur le cadran les divers degrés de tension qu'on lui donne.

Le jeu de cet appareil se devine aisément : quand l'électro-aimant devient actif, le levier L fait incliner à gauche la fourchette d'échappement qui laisse avancer d'une dent le rochet *r;* quand, au contraire, cet électro-aimant devient inerte, le ressort antagoniste ramène le levier L vers la droite ainsi que la fourchette qui laisse alors échapper une seconde dent, et ainsi de suite.

Dans la première disposition adoptée par M. Breguet, l'électro-aimant E était placé au-dessous et derrière le mouvement d'horlogerie; mais plusieurs considérations de construction l'ont engagé à changer cette disposition et à adopter celle que nous venons de décrire.

Dernièrement, M. Breguet a apporté à ces appareils deux perfectionnements importants qui étaient réclamés depuis longtemps dans la pratique : c'est, d'une part, la suppression du fil de soie du ressort antagoniste qui se coupait au bout de quelque temps de service de l'appareil; de l'autre, la possibilité de ramener d'un seul coup au repère l'aiguille indicatrice.

Pour éviter l'emploi du fil de soie, M. Breguet a adapté au treuil sur lequel s'enroulait primitivement cette soie une espèce de roue à rebord taillé en hélice. Cette roue E, fig. 20, pl. I, appuyant contre un levier doublement courbé ABCD, articulé en G, n'a qu'à être tournée dans le sens de

la flèche pour que le bras DC de ce levier s'élève de plus en plus et pour que le crochet A, auquel est attaché le ressort à boudin, recule dans le même rapport. Par cet effet, ce ressort peut donc être tendu ou détendu à volonté sans l'intermédiaire d'un fil de soie.

Pour ramener d'un seul coup ou par saccades l'aiguille indicatrice au repère, M. Breguet fait réagir sur la fourchette même de la roue d'échappement un piston horizontal PP′ (fig. 21, pl. I) maintenu à l'état normal en P′ par un ressort à boudin R, mais pouvant être repoussé contre la fourchette C au moyen d'un compas CDE mis en mouvement par la tige AE de la pédale. Quand cette tige, reliée d'ailleurs au levier qui agit sur l'armature de l'électro-aimant, ne s'enfonce qu'à une petite profondeur, elle n'a d'effet que sur le levier L, fig. 18, commandant l'échappement; mais si on l'enfonce à une plus grande profondeur, elle réagit sur le levier coudé EDC dont la branche G, en rencontrant une palette I portée par le piston PP′, fait avancer celui-ci jusqu'à un butoir d'arrêt placé à distance convenable; dans ce mouvement, les deux branches de la fourchette C ont été repoussées en dehors de la roue d'échappement; celle-ci, étant dégagée, a pu tourner jusqu'à ce qu'une cheville, portée par elle et correspondant au point de repère, ait rencontré une petite palette fixée sur l'axe d'oscillation de la fourchette C. Alors l'aiguille indicatrice se trouve arrêtée devant la division qui précède le point de repère. Elle arrive à ce point quand on abandonne la pédale à la réaction de son ressort antagoniste, réaction qui relève la tige AE et permet à la fourchette C de se replacer devant la roue d'échappement.

Le manipulateur du télégraphe de M. Breguet se compose d'une planche de forme carrée (fig. 17, pl. I) sur laquelle est monté, au moyen de trois colonnes, un plateau circulaire ou cadran de laiton. Ce plateau porte sur son

pourtour des échancrures placées en regard des lettres et des nombres que l'on a gravés sur le cadran, en deux circonférences ; une manivelle est articulée au centre du plateau sur un axe mobile qui porte une roue horizontale. Sur la surface supérieure de cette roue, et près de sa circonférence est creusée une gorge sinueuse dont les sinuosités sont régulières, et en nombre égal à celui des signes gravés sur le cadran. Cette roue produit par son mouvement de rotation le mouvement de va-et-vient du levier *b* qui oscille autour du centre *o* et va toucher alternativement les contacts PP′. Pour un tour de la roue, le levier *b* fait 13 oscillations, c'est-à-dire qu'il est 13 fois en contact avec P et 13 fois avec P′.

Dans la planche sont fixées six petites pièces de cuivre, dites gouttes de suif, trois à droite, trois à gauche ; ces deux groupes sont séparés par une bande de cuivre portant les mots : *Communication directe*. Il y a de plus cinq bornes de cuivre où s'attachent les fils conducteurs qui relient le manipulateur au récepteur, d'une part, à la sonnerie à la terre, et à la pile d'une autre.

Deux conjoncteurs à ressort où s'attache le fil de ligne, servent à mettre en contact ce dernier avec les divers éléments ci-dessus désignés, en les portant sur les gouttes de suif T, T′, S, S′, E, E′.

Une des colonnes qui supportent le cadran est reliée métalliquement avec la goutte EE′.

La borne C	communique	avec	P′.
La borne *t*	—	avec	T, T′.
La borne R	—	avec	*p*.
La borne S′	—	avec	*d*.

Les gouttes *c*, *c*′, *c*″ communiquent avec la communication directe.

D'un autre côté, la borne R est reliée au récepteur et la borne *t* à la terre.

La borne C correspond au pôle positif de la pile dont le pôle négatif communique avec le sol et les bornes S, S′ sont en relation chacune avec la sonnerie.

On voit enfin qu'il y a communication immédiate entre la colonne qui correspond à ce point de repère et celle qui sert de centre au levier L, puisque toutes deux sont fixées sur le cadran.

Toutes les fois que la manivelle du manipulateur est placée sur un nombre impair, 1, 3, 5, 7, etc.; le levier *b* est en contact avec P, et si, au contraire, cette manivelle est sur les nombres pairs 0, 2, 4, etc., le contact a lieu avec P′.

M. Breguet a fait de ce télégraphe un appareil portatif pour les convois dont nous aurons occasion de parler dans le prochain chapitre, et dont nous donnons, page 52, la représentation.

La sonnerie, en rapport avec ce télégraphe que nous avons représentée fig. 19, pl. I, se compose d'un fort mouvement d'horlogerie à trois mobiles, dont le dernier porte une excentrique E, placée en dehors des platines, et destinée à réagir sur le marteau. A cet effet, cette excentrique est reliée par une petite traverse ou bielle B, à l'extrémité de la tige du marteau qui elle-même est articulée en O.

Par ce mécanisme, le mouvement de rotation produit par le mécanisme d'horlogerie, se trouve décomposé en un mouvement de va-et-vient rapide qui fait frapper le marteau sur les deux bords opposés du timbre.

Pour dégager le mouvement de la sonnerie sous l'influence électrique, M. Breguet adapte à l'excentrique E un petit levier *b* qui, en temps ordinaire, est engagé dans une entaille pratiquée sur un ressort vertical R. Ce ressort est

commandé par un petit ressort V fixé à l'extrémité d'un axe horizontal qui pivote entre les deux platines de la sonnerie.

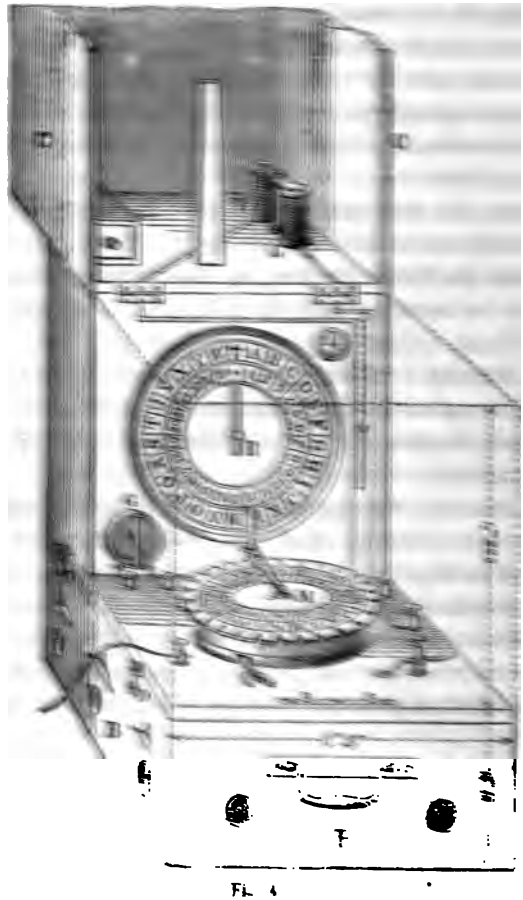


FIG. 4

Cet axe porte deux leviers placés en sens contraire l'un de l'autre : l'un qui est destiné à être relevé par une cheville adaptée à l'un des rouages pour être ramenée à sa posi-

déclanchée par un petit levier mis en mouvement par l'armature de l'électro-aimant.

M. Drescher dit qu'en donnant à chaque branche de ses électro-aimants huit pouces de longueur, un pouce et demi de diamètre, et en roulant sur chaque bobine 600 tours de fil, ils fonctionnent très-bien à une distance de 20 lieues avec six éléments de Bunsen ou douze de Daniell.

Télégraphe de M. Paul Garnier. — Ce télégraphe n'est autre qu'un télégraphe de démonstration dans lequel le cadran est mobile, et dont le mouvement est facilité par l'intermédiaire d'un léger contre-poids réagissant sur l'axe même de la roue d'échappement, au moyen d'une poulie. Les signaux apparaissent alors dans deux guichets; l'un pour les lettres, l'autre pour les chiffres et un signe particulier indique lequel de ces deux sortes de signaux est transmis.

Le manipulateur de ce télégraphe se compose comme le récepteur, d'un cadran mobile mis en jeu par une roue à rochet et un encliquetage correspondant à une pédale. En faisant jouer cette pédale, on fait tourner le cadran mobile jusqu'à ce que les lettres qu'on veut transmettre se présentent dans deux petits guichets ménagés au repère de l'appareil. Un interrupteur fixé derrière ce cadran, reproduit les fermetures du courant nécessaires pour la transmission du signal designé.

Télégraphe à cadran de M. Froment. — L'appareil de M. Froment se distingue principalement, par son transmetteur qui est mécanique et semblable au clavier d'un piano, et par la sûreté du jeu de son récepteur qui peut marcher sans mouvement d'horlogerie au moyen d'un simple échappement à ancre analogue à celui que nous avons décrit page 341, 1er vol.

Voici en quelques mots, en quoi consiste l'ingénieux transmetteur de M. Froment.

Un axe d'acier horizontal mû par un mouvement d'horlogerie et commandé par une roue à rochet d'un nombre de dents égal à celui des signes ou lettres qui peuvent être employés, porte échelonnées les unes à côté des autres et disposées en spirale, des chevilles ou butoirs d'arrêt, dont le nombre et la position sont en correspondance parfaite avec les dents de la roue à rochet. Une grande traverse horizontale dont le mouvement ne peut s'effectuer que de haut en bas, réagit par l'intermédiaire d'un cliquet sur cette roue à rochet; mais comme à l'état de repos cette traverse est repoussée en haut par un ressort antagoniste, l'encliquetage empêche le mouvement d'horlogerie d'entraîner l'axe qui porte les butoirs. C'est sur cette traverse que viennent s'appuyer les différentes touches du clavier. Ces touches, à bascule comme celles d'un piano, sont en outre munies de butoirs susceptibles d'arrêter, quand elles sont abaissées, celles des chevilles de l'axe mobile qui leur correspondent. On conçoit alors que si un interrupteur est placé sur cet axe mobile ou si même on se sert de la roue à rochet comme d'interrupteur, il suffira d'appuyer le doigt sur l'une ou l'autre des touches pour rendre libre le mouvement d'horlogerie, et pour qu'avant de se trouver arrêté de nouveau, l'axe mobile décrive un arc plus ou moins grand en rapport avec la position de la cheville qui doit venir en prise. Or, comme cet arc correspond à un certain nombre de dents de la roue à rochet, on se trouve avoir obtenu ainsi le nombre d'interruptions du courant en rapport avec le signal transmis.

La figure 23, pl. I, représente le télégraphe de M. Froment, tout disposé pour une station. La caisse AB contient le mécanisme du transmetteur et le clavier. E F est un cacadran dont l'aiguille marche mécaniquement en même temps que l'axe du transmetteur fonctionne, et sert à contrôler la marche de ce transmetteur. Enfin C D est le

récepteur dont la pédale pour ramener l'aiguille au repère se voit en G.

Le jeu du mécanisme de M. Froment est réellement surprenant; quels que soient les mouvements que l'on ait exécutés sur le clavier, de quelque manière qu'on ait abaissé les touches, dès que le doigt s'arrête sur l'une d'elles, la lettre correspondante apparaît sur le cadran. Les appareils que l'on peut voir chez notre habile et savant constructeur, fonctionnent admirablement bien sans mouvement d'horlogerie, mais M. Froment en a disposé d'autres dans le même système qui possèdent ce mécanisme moteur, pour fonctionner à grande distance.

Télégraphe électrique de M. Mouilleron. — Afin d'éviter le soin de régler, suivant l'intensité du courant, la tension du ressort antagoniste dans les télégraphes de M. Breguet ou autres, M. Mouilleron a adapté au mécanisme de ces appareils, le système régulateur dont nous avons dit quelques mots page 472, 1er vol., et qui est représenté fig. 24, pl. I.

Ce régulateur consiste dans un petit mécanisme d'horlogerie mis au mouvement par un barillet D, et commandé par un électro-aimant supplémentaire B, au moyen d'un échappement. Le fil de cet électro-aimant communique avec celui de la ligne, et partage ainsi le courant avec l'électro-aimant du télégraphe, mais sa longueur et sa grosseur sont calculées de manière à présenter une très-grande résistance.

Le mécanisme d'horlogerie a pour effet de mettre en mouvement deux petites poulies C, C′ sur lesquelles sont fixés les fils de soie des ressorts antagonistes des deux armatures. Si à la station qui transmet on fait faire au manipulateur un tour de cadran, l'électro-aimant B dégagera vingt-six fois l'échappement du régulateur, et par conséquent les poulies C C′ auront tourné d'une certaine quan-

tité. En tournant, elles auront serré les deux ressorts antagonistes. Mais si l'un de ces ressorts, celui H correspondant à l'électro-aimant B, se trouve préalablement tendu beaucoup plus fortement que l'autre, il arrivera un moment où la force antagoniste de ce ressort surpassera la force électro-magnétique de l'électro-aimant B, et où par conséquent l'échappement ne fonctionnera plus. Cette limite, comme il est facile de le comprendre, dépendra de l'intensité ou de l'énergie du courant. Mais tandis que le ressort H aura paralysé l'action électro-magnétique de l'aimant B, celui du télégraphe qui est beaucoup moins tendu, laissera parfaitement fonctionner cet appareil, et celui-ci continuera même désormais à bien fonctionner, car l'inertie de l'échappement du régulateur empêche une tension plus grande de ce dernier ressort. Si donc la différence de tension initiale des deux ressorts ou leur force a été calculée de manière que le degré de tension du ressort H correspondant à l'arrêt du régulateur réponde au degré de tension nécessaire pour le bon fonctionnement du ressort du télégraphe, l'objet du régulateur aura été rempli, car évidemment ce degré de tension dépendra toujours de l'intensité du courant.

Pour faire fonctionner ce système télégraphique, il faut 1° que tous les soirs après le service de la correspondance, on prenne le soin de détendre le ressort, ce que l'on fait en tournant les deux poulies sur leur axe au moyen d'une clef; 2° qu'avant de transmettre, on fasse faire plusieurs tours au manipulateur, afin que la tension des deux ressorts arrive au degré suffisant.

Manipulateurs de télégraphes à cadran dont les électro-aimants sont à armatures aimantées.—Système de M. Gloesener.—« Tout transmetteur ou manipulateur, dit M. Gloesener, doit, pour remplir convenablement son objet, être construit de telle façon : 1° qu'on puisse établir le courant,

l'interrompre, en changer alternativement la direction, le conduire dans les fils des lignes télégraphiques, le ramener de terre dans l'appareil pendant qu'on envoie des signaux, enfin conduire à tout instant, dans un récepteur placé à côté, le courant de la station qui veut parler; 2° que le correspondant puisse, sans perte de temps sensible, couper la parole à celui qui transmet aussitôt qu'il n'a pas compris.

« Ces conditions peuvent être parfaitement remplies par quatre modes de construction essentiellement différents que je vais d'abord décrire, et ensuite discuter successivement.

« 1° Elles sont toutes réalisées dans la construction du changeur représenté fig. 1, pl. II. Sur l'une des faces d'un disque circulaire d'ivoire, je fixe deux larges anneaux de cuivre concentriques, et sur l'autre un disque circulaire de laiton Y, divisé en 26 secteurs égaux, isolés les uns des autres par des espaces vides et échancrés de chaque côté à leur extrémité interne; j'inscris sur l'un des secteurs le signe + et sur chacun des autres une des lettres de l'alphabet; et, à l'aide de petites tiges de cuivre, je fais communiquer l'un des anneaux concentriques avec les secteurs pairs, et l'autre avec les secteurs impairs. Un axe A, isolé de toutes parts, qui traverse une tablette d'acajou et les centres des disques d'ivoire et de laiton, porte une aiguille et une manivelle articulée MMMN munie d'une petite cheville passant dans les trous qui traversent incomplétement les secteurs. Deux lames de laiton P et P′, communiquant respectivement avec les deux pôles de la pile, sont constamment en contact intime, l'une avec l'anneau de cuivre intérieur, l'autre avec l'extérieur, quand on tourne au moyen de la manivelle le changeur Y. Autour de celui-ci est fixé un anneau plat de laiton CC′C″ sur lequel sont gravées les mêmes lettres que sur les secteurs. Trois ressorts d'acier R, R′ et R″ sont adaptés solidement sur la même

tablette aux points O, O′, O″ : R communique avec le fil de la ligne, R′ avec la terre et R″ avec un récepteur placé à côté. A la face postérieure de chacun de ces ressorts j'ajuste avec des vis trois plaques de laiton Q, Q′, Q″, qui sont destinées à assurer le contact intime des ressorts contre les secteurs, lorsqu'ils exécutent librement leurs vibrations pendant que le changeur tourne rapidement autour de son axe A. Ils doivent tous les trois se plier légèrement et frotter en même temps, en glissant, contre le changeur, afin de recevoir et de transmettre aux fils conducteurs le courant électrique avec la moindre perte possible; il faut, en outre, qu'ils soient disposés de façon à satisfaire aux conditions suivantes :

« Les ressorts R et R′, pendant que le changeur tourne, doivent toucher au moins, pendant quelques instants, l'un un secteur pair, l'autre un secteur impair, R″ étant isolé, afin que le courant de la pile puisse passer uniquement dans le récepteur de la station éloignée. Si dans ce cas, R″ communiquait aussi pendant un seul instant avec un des secteurs, le courant de la pile passerait à la fois dans les récepteurs de la station qui donne et de celle qui reçoit, mais principalement dans celui de la première.

« Le récepteur de la station qui donne, communiquant par les deux bouts du fil de ses électro-aimants avec les ressorts R′ et R″, ce dernier doit toucher, au moins pendant un temps très-court, un des secteurs, toutes les fois que l'autre ressort R communique avec le changeur par un des secteurs du même nom, afin que le courant venant de la station éloignée puisse passer dans le récepteur, et qu'après chaque lettre transmise, le correspondant puisse au besoin dire promptement qu'il n'a pas compris.

« Lorsque le manipulateur est en repos, le ressort R″ doit communiquer en même temps que R, avec le changeur, afin que le correspondant puisse toujours parler à volonté.

« De nombreuses expériences m'ont démontré que le manipulateur ci-dessus remplit exactement sa destination. Pour reconnaître si le courant passe, on place à chaque station dans le circuit un multiplicateur ou une boussole dont les aiguilles dévient sous l'influence du plus faible courant.

« Afin de pouvoir couper facilement et instantanément après chaque lettre la parole à celui qui parle et l'empêcher de transmettre, je divise en deux parties la palette de laiton qui réunit le fil de la ligne au ressort R, en séparant l'une de l'autre de 4 à 5 millimètres, et au-dessous d'elles j'en fixe une autre de laiton dans la tablette d'acajou, de telle sorte qu'un ressort solide la soulève, en la pressant fortement contre les deux parties de la lame coupée en deux, et qu'à l'aide d'une touche de clavier adaptée à sa face supérieure on puisse l'abaisser. Par ce moyen on interrompt le courant, en abaissant la touche, et on le rétablit en retirant la main.

« Veut-on interrompre la communication et indiquer qu'on n'a pas compris? il suffit d'abaisser la touche instantanément; les aiguilles du multiplicateur de la station qui parle, comme celles de la station qui reçoit, retournent immédiatement à leur position de repos, et par là le correspondant reconnaît qu'on n'a pas compris.

« Il est presque inutile de dire que, pour transmettre des signaux, on saisit la manivelle par le bras N, et qu'on tourne le changeur sur son support en l'arrêtant un instant, lorsque son aiguille est vis-à-vis de la lettre gravée sur l'anneau CC′C″ qu'on veut signaler. Ensuite on continue de mouvoir le changeur et d'arrêter son aiguille pendant un quart de seconde devant la lettre qu'elle doit indiquer après la première, et ainsi de suite.

« 2° Le second mode de transmettre des signaux consiste à se servir du changeur uniquement pour renverser alter-

nativement la direction du courant (ou pour l'interrompre dans l'ancien système), et le conduire dans le récepteur de la station qui donne, et de là par le fil de la ligne dans celui qui reçoit. Le stationnaire, en faisant tourner le changeur, suit d'un œil attentif l'aiguille indicatrice, lui fait faire une courte pause devant la lettre qu'il veut signaler, en arrêtant le changeur un instant, puis continue de mouvoir ce dernier, et, par suite, à faire parcourir à l'aiguille la circonférence du cadran.

« Si les deux récepteurs sont semblables, que le courant qui anime leurs électro-aimants ait la même intensité aux deux stations et qu'aucune cause accidentelle ne dérange les appareils, le stationnaire peut être sûr que l'aiguille du récepteur à la station qui reçoit, n'indique pas d'autres lettres que celles qu'il voit marcher devant lui.

« Quant au changeur, on peut faire usage de celui que j'ai décrit plus haut; les aiguilles des récepteurs et celle du changeur en mouvement se trouveront alors toujours sur la même lettre, si tout se passe régulièrement, et les indications des récepteurs sont, en quelque sorte, contrôlées par celles du manipulateur. Mais on peut aussi se servir du transmetteur représenté fig. 2, et dans ce cas, on fait jouer d'une main la touche 1, et de l'autre la touche 2, mais en abaissant toujours alternativement l'une et l'autre. Voici comment le courant est conduit successivement dans les deux récepteurs aux deux stations.

« Si l'on abaisse la touche 1, le courant passe de la pile par le fil m'' m' dans la lame de laiton L L, traverse le bouton abaissé et communiquant avec le fil a a', entre dans le récepteur X de la première station au point Q, en sort au point S, parcourt le fil de la ligne, entre au point S′ dans le récepteur X′ de la seconde station, en sort au point T′ et revient par la terre et par le fil TQ′ au point b', suit le fil b' m, passe dans le bouton abaissé P, dans la lame L′ L″,

isolé en M de LL, et retourne dans la pile par le fil n' n'' en contact avec la lame en n'.

« Quand on abaisse la touche 2, le courant suit le fil m'' m', en contact avec LL au point m', arrive au bouton abaissé b, suit le fil bb', traverse Q', puis la terre, entre au point T' dans le fil des électro-aimants du récepteur X', en sort au point S', passe par S dans le fil des électro-aimants de X, enfin revient par Q, par a', par P' et par le fil n' n'' dans la pile.

« Pour transmettre des communications, le télégraphiste fait jouer alternativement la touche 1 et la touche 2. Pendant qu'il opère, il suit attentivement le mouvement de l'aiguille indicatrice, en se conformant de tous points à ce que j'ai dit, concernant la transmission avec le manipulateur précédent.

« 3° Le troisième mode de transmission des signaux consiste à confier l'opération principale à l'action du courant de la pile. On fait alors jouer les deux claviers d'une manière particulière qui sera exposée plus tard.

« 4° Le quatrième procédé consiste à faire mouvoir le manipulateur par une force mécanique. Au lieu d'agir avec la main sur celui qui est représenté fig. 1, je le fais tourner à l'aide d'un fort mouvement d'horlogerie pourvu d'un ressort solide, et je fais réagir sur lui un transmetteur à clavier.

« Ce transmetteur à clavier se compose d'un fort mouvement d'horlogerie M (fig. 3, pl. II), fixé dans une petite boîte B et réglé par un volant; il peut faire un tour par seconde pendant vingt-quatre heures, sans avoir besoin d'être remonté. Sur l'axe de ce mouvement on ajuste un changeur Y, formé de deux disques de laiton P et P' de même diamètre, parallèles et isolés l'un de l'autre, portant chacun sur leur circonférence treize dents de même largeur et autant d'espaces vides. Ces disques sont disposés symétriquement de manière que chaque dent de l'un, divise en deux parties égales l'es-

pace vide entre deux dents de l'autre, et que ces dents forment toutes ensemble un contour de vingt-six parties conductrices également espacées et parfaitement isolées les unes des autres.

« Deux ressorts Z et Z′ recevant, l'un l'électricité positive et l'autre l'électricité négative de la pile, communiquent respectivement avec P et P′, et trois autres ressorts ou lames d'acier R, R′, R″ sont disposés autour du changeur Y, de la même manière que pour le manipulateur représenté fig. 1[1]. Les secteurs pairs de cette figure peuvent être assimilés aux dents du disque P, et les secteurs impairs à celles du disque P′, et réciproquement. Le ressort R communique avec le fil de la ligne, R′ avec la terre, et R″ avec le récepteur placé à côté du transmetteur et avec la terre. Les ressorts doivent être disposés de façon à remplir les conditions exposées page 59. R″ ne doit jamais communiquer ni avec le disque supérieur, ni avec l'inférieur, pendant que R communique avec l'un et R′ avec l'autre. Mais en revanche ce ressort R″ doit communiquer un instant, soit avec le disque supérieur, soit avec l'inférieur, si R communique avec le même disque, pendant que R′ est isolé.

« Le clavier circulaire V est placé au-dessus du changeur Y. A la face intérieure du couvercle de la boîte B, j'adapte un anneau plat de laiton sur lequel je trace une circonférence de cercle, dont le centre se trouve dans l'axe prolongé du changeur. Vingt-six ressorts d'acier ajustés sur cette circonférence par un de leurs bouts, portent à l'autre de petites tiges de fer qui passent à travers de petites ouvertures percées dans le couvercle. Je visse sur ces tiges de gros boutons

1. Les lettres sur les secteurs du changeur de cette figure sont utiles, seulement dans le cas où le stationnaire veut amener successivement les lettres à indiquer près d'un point d'arrêt fixé devant lui, comme cela se pratique encore quelquefois.

de laiton sur lesquels j'inscris le signe + et les vingt-cinq lettres de l'alphabet.

« Sur l'axe prolongé des changeurs, je fixe deux aiguilles ou lames en laiton N et N′ : l'une à l'intérieur, l'autre à l'extérieure de la boîte, de manière à ce que l'aiguille intérieure en tournant passe librement au-dessous des pieds des touches et ne soit arrêtée que quand l'une ou l'autre de ces touches est abaissée ; alors, dans le même instant, l'aiguille extérieure N se trouve vis-à-vis de la lettre que porte la touche abaissée. Les deux aiguilles sont adaptées à l'axe du changeur, de telle façon que toutes les fois que celle de l'intérieur N′ est arrêtée par le pied d'une des touches, les ressorts R et R″ communiquent avec l'un des disques P et P′, tandis que le troisième R′ isolé.

« Dans cette position le circuit du courant de la pile est rompu, mais le stationnaire peut recevoir des nouvelles de son correspondant.

« Pour faire jouer ou pour arrêter le télégraphe, le stationnaire, sait qu'en abaissant une touche, le changeur est immédiatement ramené au repos lorsque les aiguilles sont venues se placer vis-à-vis de cette touche ; il sait aussi que celle-ci est instantanément soulevée par l'influence du ressort sur lequel elle repose dès qu'on retire la main. Enfin il sait qu'il est d'usage de ramener toujours les aiguilles du transmetteur et du récepteur devant le signe de la croix, lorsque l'appareil ne travaille pas. On maintient le manipulateur dans cette position à l'aide d'une petite lame d'acier fixée près de cette touche. Retirer la lame d'acier pour mettre le transmetteur en mouvement, poser successivement la main sur les lettres qu'on veut donner, mais toujours l'appuyer sur la lettre à signaler avant que de la retirer de dessus la lettre déjà transmise, est en définitive, il n'est pas inutile de le répéter, toute l'opération du stationnaire, lorsque le manipulateur est à clavier. »

Système télégraphique de M. Glœsener au moyen duquel les signaux peuvent être distribués sur deux ou trois circonférences concentriques. — Ce système qui permet de réduire à huit les positions différentes que prend l'aiguille d'un télégraphe à cadran, pour la désignation des lettres de notre alphabet, nécessite deux mécanismes : un récepteur à mouvement d'horlogerie ordinaire et un timbre électromagnétique marchant sous l'influence d'une armature aimantée. La disposition de ce système se comprend aisément. Si la lettre qu'on a voulu transmettre se trouve placée sur la circonférence intérieure du cadran, sa désignation s'effectue comme à l'ordinaire, c'est-à-dire par l'arrêt momentané de l'aiguille indicatrice; mais si elle se trouve sur la circonférence moyenne ou sur la circonférence extérieure, l'action du manipulateur qui doit réagir sur elle, doit faire intervenir en ce moment le mécanisme du timbre, et en conséquence renverser le sens du courant. Un seul coup frappé sur le timbre indiquera que le signal pointé appartient à la circonférence moyenne; deux coups indiqueront que le signal doit être lu sur la troisième circonférence. Pour obtenir cet effet, on peut employer un manipulateur analogue à celui que j'ai décrit page 273, 1er vol. Celui que M. Glœsener indique est plus compliqué, en ce qu'il nécessite deux appareils : un manipulateur ordinaire et un commutateur à renversement de pôles; il présente de plus l'inconvénient de faire avancer l'aiguille, par le seul fait de la mise en action du timbre, ce qui n'a pas lieu avec mon manipulateur, quand on n'emploie que deux circonférences indicatrices et quand les lettres impaires occupent la circonférence intérieure. Pour peu qu'on se reporte à la description que nous avons donnée de ce manipulateur, on comprendra aisément que tant qu'on tournera la manivelle B, fig. 14, pl. IV, 1er vol., l'aiguille du récepteur fonctionnera comme avec un manipulateur ordi-

naire; mais aussitôt qu'on appuiera sur l'une des touches F, ce qui arrivera quand la lettre désignée sera d'ordre pair, la manivelle B sera arrêtée, et par ce seul fait le courant étant renversé mettra en action le timbre en même temps qu'il fera avancer l'aiguille du récepteur devant la lettre désignée.

Il est inutile de dire que le timbre peut être remplacé par un index quelconque, pourvu que son apparition soit provoquée par une réaction électrique inverse à celle qui détermine la marche normale du télégraphe.

Système de télégraphe à cadran dans lequel l'aiguille peut avancer, rétrograder et osciller à la volonté du télégraphiste — de M. Glœsener. — Ce système marche sous l'influence seule de l'action mécanique du courant; en conséquence, il n'est guère susceptible d'application sur les lignes télégraphiques un peu longues. C'est à proprement parler un télégraphe de démonstration à cadran dont l'axe portant les aiguilles se trouve pourvu de trois rochets au lieu d'un. Sur deux de ces rochets réagissent des encliquetages mis en mouvement par des électro-aimants à armatures aimantées, interposés dans un même circuit. Ces électros sont disposés de manière que quand l'une des armatures est attirée pour un certain sens du courant, l'autre soit repoussée, et réciproquement. C'est sur le troisième rochet que réagissent les cliquets de retien nécessaires pour assurer la marche du système; seulement les dents de ce rochet, au lieu d'être pointues, sont carrées. Avec cette disposition on comprend que si deux biseaux rigides se trouvent disposés au-dessus des cliquets d'impulsion de manière à les écarter de leurs rochets respectifs lorsqu'ils sont en repos, il suffira de faire réagir sur les électro-aimants un manipulateur à renversement de pôles, pour que toutes les fermetures de courant opérées dans un même sens fassent successivement tourner l'un des rochets, et pour que toutes les fermetures de ce

même courant opérées en sens contraire réagissent sur l'autre rochet. Un pareil manipulateur est, du reste, assez simple à construire.

Télégraphe silencieux de M. Breguet. — Quand on veut correspondre directement d'une station à une autre, sans que les stations intermédiaires prennent part à la dépêche, et sans employer d'appareils silencieux (appareils que nous décrirons plus tard), il devient essentiel de faire intervenir une action physique qui fasse que le moyen propre à faire marcher l'un des télégraphes ne puisse convenir aux autres. Or, le moyen d'arriver à ce but est fourni directement par les armatures aimantées. Supposons, en effet, que sans rien changer au mécanisme des appareils actuels, on substitue seulement aux armatures de fer doux des armatures aimantées, dont les pôles soient disposés dans les appareils d'une manière diamétralement opposée aux stations extrêmes et aux stations intermédiaires, on comprendra que si le courant marche dans le circuit, de manière à attirer les armatures des appareils des stations extrêmes, ce courant, réagissant sur les appareils des stations intermédiaires, n'aura d'effet que dans le sens de la répulsion. Or, comme les armatures se trouvent alors butées sous l'influence de leur ressort antagoniste, elles ne bougent pas. Donc, les deux stations extrêmes seules peuvent alors parler; mais si on change le sens du courant, les réactions magnétiques devenant immédiatement opposées, le contraire a lieu, et ce sont les stations intermédiaires qui se trouvent en relation avec l'une ou l'autre des stations extrêmes.

Ce système peut avoir beaucoup d'avantages pour les petites distances télégraphiques, mais, à cause des bifurcations qu'il nécessite, et de la nécessité des relais pour de longues distances à franchir, les relais silencieux sont préférables. Néanmoins, il est beaucoup de cas particuliers, et surtout beaucoup d'instruments, tels que les sonneries

électriques, les appareils à signaux, etc., pour lesquels le système de M. Breguet peut être employé avec beaucoup d'avantages.

Télégraphe magnéto-électrique de M. Lippens. — L'application des courants d'induction à la marche des appareils télégraphiques n'est pas nouvelle. En 1835, MM. Gauss et Weber avaient eu recours à ce moyen pour faire fonctionner leur télégraphe, et nous avons vu page 14, que M. Steinheil n'avait pas employé d'autres courants dans les expériences faites à Munich avec son télégraphe d'essai. En 1840, M. Wheatstone combina ses télégraphes électro-magnétiques, soit à aiguilles, soit à cadran, de manière à pouvoir fonctionner sous l'influence d'un *manipulateur générateur*, consistant dans une espèce de machine de Clarke, donnant un certain nombre de courants induits pour chaque tour du manipulateur. Enfin M. Glœsener en 1848, fit construire et expérimenter un appareil télégraphique perfectionné suivant son système, mais marchant également sous l'influence de courants d'induction. Ce n'est donc pas à M. Lippens, qu'appartient en aucune façon l'idée d'avoir appliqué les courants d'induction aux télégraphes à cadran, et je ne comprends pas trop le rapport flatteur fait sur ce télégraphe par M. Devaux à l'académie des sciences de Bruxelles, d'autant plus que ce télégraphe n'a pas réalisé, suivant M. Glœsener, les résultats que le rapport de M. Devaux avait promis.

Dans ce télégraphe qui marche du reste, sans mouvement d'horlogerie, le jeu de la fourchette d'échappement est commandé par un système de deux électro-aimants, dont l'armature commune qui est en relation avec cette fourchette est aimantée. Il en résulte que ce télégraphe exactement semblable à celui de M. Glœsener fonctionne sans ressorts antagonistes. Quant au manipulateur, M. Lippens a modifié un peu celui de M. Wheatstone, en faisant

usage d'une bobine fixe, et en rendant seulement mobile l'armature de fer doux intérieure, munie de parties plus prédominantes que les autres, lesquelles passent devant les pôles de forts aimants fixes. Lorsque ces armatures mobiles s'aimantent ainsi par influence, les courants induits dans la bobine fixe réagissent sur le récepteur.

Télégraphe prussien de MM. Siemens et Halske. — Ce système télégraphique n'est, à proprement parler, qu'un rhéotome de de Larive, disposé de manière à ce que les vibrations de l'armature suffisamment amplifiées par un bras de levier un peu long, puissent mettre en mouvement de rotation continu et régulier, une roue à rochet. C'est en un mot, le système de remontoir de M. Froment que nous avons décrit page 325, 1er vol., moins le limaçon et la bascule qui s'y trouve appuyée. Ce télégraphe que M. Siemens a, selon nous, compliqué inutilement, est représenté fig. 4, pl. II.

EE est l'électro-aimant commandant le mouvement du rhéotome et de la roue à rochet. Il a la forme que nous avons décrite page 213, 1er vol., et son armature AA porte deux leviers, l'un LL à l'extrémité duquel est articulé le crochet d'impulsion *t*, l'autre sur lequel réagit le ressort antagoniste R. Ce ressort a sa tension réglée au moyen d'un écrou mobile *e*, dont la vis est munie d'un carré à clef.

Le levier LL oscille entre deux appendices métalliques *a*, *a'* appartenant à un levier horizontal NN' que M. Siemens a désigné sous le nom de navette, et qui pivote par l'une de ses extrémités, sur un axe vertical soutenu en S par un pont. Cette navette, pour ne pas avoir ses mouvements trop libres, porte à son extrémité libre un petit pied N' qui frotte sur la platine de l'appareil; une pièce isolante en agate *m*, placée transversalement sur le levier LL, transmet à la navette, par son contact avec les appendice *a*, *a'*, les mouvements imprimés à ce levier, mou-

vements qui sont limités par deux butoirs d'arrêt P, P'.

La roue à rochet V soutenue dans une position horizontale par l'intermédiaire d'un pont U V, a ses dents taillées sur le côté. Son jeu est assuré par deux cliquets, l'un de retien fixé en t', l'autre d'arrêt t'' porté par le levier L L. Ce dernier est rigide, et s'oppose à ce que deux dents puissent passer à la fois sous l'influence de l'impulsion communiquée à la roue par le crochet t. Nous verrons bientôt au chapitre de l'horlogerie électrique, que ces cliquets d'arrêt que les horlogers appellent *butoirs de sûreté*, sont indispensables pour un bon échappement sans fourchette d'encliquetage.

Enfin les communications électriques sont établies de manière que l'électro-aimant E E, communique d'un côté à l'un des pôles de la pile, et de l'autre au butoir P, tandis que le second pôle est en rapport avec le support S. Pour peu que l'on considère la marche du courant, on comprendra immédiatement, que toutes les fois que le levier L L sollicité par le ressort antagoniste R, mettra en contact l'appendice a avec le butoir P, le courant sera fermé dans l'électro-aimant E E, et l'armature A A cédant à l'attraction magnétique fera basculer le levier L L. Celui-ci étant soulevé, rencontrera bientôt l'appendice a', et par son intermédiaire, repoussera la navette contre le butoir P'. Pendant ce mouvement, le crochet t sera remonté au-dessus d'une dent du rochet, et le cliquet d'arrêt t'' aura dégagé le rochet lui-même qui ne sera plus maintenu que par le cliquet de retien t'; mais lorsque la navette aura été ainsi entraînée, le courant sera rompu à travers l'électro-aimant, et le levier L L, cédant à l'action de ressort antagoniste, reportera l'appendice a contre le butoir P, mouvement qui aura pour effet l'échappement de la dent du rochet qui était en prise, l'arrêt forcé du rochet par le cliquet t'', et une fermeture nouvelle du courant. Cette fermeture provoquera

de nouveau le soulèvement du levier L·L, et les effets que nous avons étudiés se reproduiront ainsi indéfiniment, tant que l'appareil restera en rapport avec la pile. Si donc une aiguille est fixée sur le prolongement de l'axe de la roue à rochet, elle accomplira un nombre indéfini de révolutions autour du cadran, révolutions qui seront exactement répétées aux mêmes instants par les aiguilles de tous les autres appareils interposés dans le même circuit.

La sonnerie en rapport avec ce télégraphe, est exactement fondée sur le même principe que le télégraphe lui-même. Comme lui, elle possède un électro-aimant BB, dont l'armature porte deux leviers, l'un H, soumettant le système à la réaction d'un ressort antagoniste, l'autre G réagissant sur une seconde navette $n\,n'$; seulement cette navette qui a la forme d'un compas est disposée de manière à n'accomplir qu'un très-petit mouvement. En outre de ces deux leviers, cette armature en porte un troisième K (terminé par une espèce de crosse) qui se trouve à portée d'un timbre T, et qui frappe sur le timbre lorsque l'armature de l'électro-aimant entre en vibration.

Le transmetteur de cet appareil comme celui du télégraphe de Drescher, consiste dans une série de touches à ressort placées circulairement autour du cadran, et dont les extrémités intérieures portent une palette susceptible, étant abaissée, d'arrêter une forte aiguille fixée parallèlement à l'aiguille indicatrice sur l'axe du rochet V. Par cet arrêt, la navette NN′ ne peut plus toucher le butoir P, et le courant se trouve ainsi rompu sur toute la ligne, ce qui empêche les autres appareils interposés dans le même circuit de continuer leur marche. Comme cette marche est synchronique pour tous ces appareils, il suffira donc, pour envoyer un signal, d'arrêter à la station qui transmet l'aiguille indicatrice du télégraphe, au moment où elle va arriver devant ce signal. Or, l'on obtient ce résultat

en poussant la touche à ressort correspondante au même signal.

Dans la disposition qu'ont adoptée MM. Siemens et Halske, la sonnerie de l'appareil est interposée dans le même circuit que le télégraphe lui-même; et pour l'empêcher de marcher lorsque le télégraphe fonctionne, il suffit de la retirer du circuit au moyen d'un commutateur. Mais pour que les télégraphes puissent être toujours en état d'entrer en mouvement synchronique, il importe qu'ils ne puissent être mis en marche alors que la sonnerie fonctionne. Or, pour arriver à ce résultat, il faut nécessairement que les ressorts antagonistes des deux mécanismes aient une tension différente, et que cette tension soit suffisante pour paralyser le mouvement du télégraphe lorsque la sonnerie sonne. J'ignore comment M. Siemens rend ses télégraphes actifs après que la sonnerie est retirée du circuit. Est-ce par l'effet de la moindre résistance apportée à la transmission du courant, par suite de la suppression de la sonnerie? Est-ce par l'addition de quelques éléments à la pile? Est-ce par le relâchement des ressorts antagonistes? Les renseignements que je possède ne sont pas suffisamment clairs à cet égard. Toujours est-il qu'à ce système on pourrait substituer le suivant, qui me semble présenter plus de garanties et exiger moins de force de la part de l'action électro-magnétique.

Dans ce système, les sonneries des stations, en temps de repos, sont seules interposées dans le circuit. Quand l'une de ces stations veut parler, le stationnaire retire la sonnerie du circuit et lui substitue son télégraphe et sa pile, ce qu'il fait à l'aide d'un simple commutateur à double contact. L'appareil télégraphique se trouve mis alors en mouvement conjointement avec la sonnerie de la station correspondante; quand l'aiguille du télégraphe se trouve avoir ainsi accompli un tour ou plusieurs tours de cadran, on

arrête l'aiguille au repère, et on interrompt la communication avec la pile en complétant le circuit de la ligne à travers l'appareil télégraphique, opération qui se fait d'un seul coup à l'aide d'un second commutateur à double contact. Alors l'employé de la station qui doit recevoir la dépêche, averti par sa sonnerie, la retire du circuit et lui substitue son télégraphe et sa pile. Par cette substitution, le télégraphe de la première station est mis en mouvement, et celle-ci est prévenue dès lors qu'elle peut envoyer sa dépêche.

Avec ce système de correspondance la station, qui parle réagit sur le courant de la station qui reçoit et réciproquement.

La marche normale du télégraphe de M. Siemens est celle où l'aiguille parcourt par seconde la demi-circonférence du cadran ou passe en une seconde devant 15 signaux. « On obtient cette vitesse, dit M. Siemens, avec une pile « de 5 couples de Daniell; une pile de 25 couples avec les « fils souterrains fait très-bien marcher les appareils sur « une longueur de 400 kilomètres environ. » Quoi qu'en dise M. Siemens, quoi qu'en dise M. Pouillet qui a fait sur cet appareil un rapport peut-être un peu trop favorable, un fait certain, c'est qu'on a dû l'abandonner même en Allemagne où il avait été tant vanté, même en Prusse où on l'avait établi sur plusieurs lignes.

M. Siemens a cherché à rendre son télégraphe plus sensible au moyen de relais analogues à ceux que nous avons décrits page 285, 1er vol. Ces relais se trouvent reliés aux appareils télégraphiques et aux sonneries, de manière que les contacts opérés par les navettes, au lieu de réagir directement sur les électro-aimants qui en commandent la marche, ne réagissent sur eux que par l'intermédiaire du relais. Cette disposition est très-simple à effectuer, puisqu'il ne s'agit pour cela que de réunir le pont S (fig. 4), à

l'électro-aimant du relais, en interposant d'ailleurs ce même électro-aimant, ainsi que le butoir P dans le circuit de la ligne et de mettre en rapport l'électro-aimant EE avec la pile locale et les contacts du relais.

Télégraphe du docteur Kramer. — Le télégraphe du docteur Kramer, comme celui de M. Siemens, est à mouvement électro-synchronique; seulement c'est un mécanisme d'horlogerie qui fait les frais du mouvement, et un échappement à chevilles qui commande ce mécanisme. L'organe rhéotomique qui interrompt et ferme successivement le courant, au lieu de dépendre du système électromagnétique, est mis en action par une roue à rochet montée sur le même axe que la roue d'échappement et cette roue, au moment de chaque échappement de dent sépare une lame de ressort d'un butoir de contact pour rétablir la communication aussitôt après. Il résulte de cette disposition une série de vibrations, de la part de l'armature de l'électro-aimant commandant l'échappement, qui permet le mouvement continuel et saccadé de l'aiguille indicatrice autour du cadran. Pour signaler telle ou telle des lettres qui sont inscrites sur ce cadran, il ne s'agit donc que d'arrêter cette aiguille devant cette lettre, précisément au moment où la disjonction du courant est effectuée. Comme les appareils des diverses stations sont interposées dans des circuits locaux dépendant d'un circuit principal sur lequel réagit l'interrupteur rhéotomique; cette rupture du courant suffit pour arrêter tous ces appareils devant le même signe. Pour obtenir cet arrêt de l'aiguille indicatrice, des touches à ressort ont été placées, comme dans la télégraphie Siemens autour du cadran, et devant les différentes lettres ou signaux qu'il s'agit de transmettre.

Dans ce système télégraphique, le cadran et ses touches au lieu d'être placé horizontalement comme dans le système précédent, est disposé verticalement.

Télégraphe à mouvement synchronique de M. Gloesener. — M. Gloesener a aussi combiné un système télégraphique à mouvements synchroniques dont le principe est à peu près le même que celui du télégraphe précédent. La seule particularité que présente ce télégraphe par rapport à ceux du même genre que nous avons décrits, c'est qu'il marche sous l'influence d'attractions électro-magnétiques sans réaction secondaire de ressorts antagonistes : à cet effet, les deux lames de l'ancre d'échappement (de M. Breguet) qui commande le mouvement d'horlogerie, sont isolées l'une de l'autre et sont reliées séparément avec deux électro-aimants dont les pôles sont placés en regard les uns des autres, et qui ont une armature commune dont les mouvements réagissent sur l'ancre d'échappement lui-même. Le courant est distribué dans ces électro-aimants par la roue d'échappement et les branches de l'ancre qui la commande. Par conséquent, quand c'est la branche *a* qui se trouve en contact avec cette roue, c'est l'électro-aimant A qui réagit et qui tend à dégager cette dernière : quand cette roue échappe, le courant se trouve rompu mais bientôt elle se trouve mise en contact avec la branche *b* de l'ancre qui reporte le courant dans l'électro-aimant B. Celui-ci réagit en sens contraire de l'électro-aimant A, de sorte qu'il se produit une vibration rhéotomique qui imprime à l'appareil une très-grande vitesse de rotation et permet, en interposant deux ou plusieurs appareils dans un même circuit, de les faire marcher synchroniquement.

Pour arrêter les aiguilles devant un signal convenu, il suffit, comme on le comprend aisément, de disposer les leviers d'arrêt de l'aiguille de manière que celle-ci soit butée au moment où la roue d'échappement abandonne la palette qui la retenait. De cette manière, en effet, le courant se trouve forcément coupé. Sans doute, à la station qui reçoit, l'aiguille ne se trouve pas ainsi arrêtée au milieu

d'un échappement; mais lorsque celui-ci est accompli, le courant qui, sans l'arrêt de l'aiguille à la station qui transmet, aurait continué à entretenir la marche du récepteur, se trouve coupé et ne peut plus réagir.

Comme principe, cet appareil est extrêmement simple, mais dans l'application il présente les mêmes inconvénients que tous les télégraphes du même genre, c'est-à-dire que le synchronisme se trouve troublé au bout d'un certain temps.

Pour obtenir une plus grande force électrique avec ce système télégraphique à mouvement synchronique, M. Gloesener a combiné une autre disposition consistant à placer sur l'axe de la roue d'échappement des récepteurs un petit commutateur à renversement de pôles et à conduire le courant transmis par celui-ci à une armature électro-aimant, réagissant au lieu et place de l'armature commune aux deux électro-aimants dont nous avons précédemment parlé. Alors l'interruption du courant s'effectue par le soulèvement du ressort qui amène le courant au commutateur, soulèvement qui est la conséquence de l'abaissement de la touche à l'aide de laquelle on arrête le mouvement de l'aiguille.

Télégraphe à écran de M. Régnard.—Ce télégraphe peut remplacer le télégraphe à cadran, qui est aujourd'hui employé pour les chemins de fer. Il offre sur celui-ci deux avantages : il n'exige, en moyenne, que 1 mouvement 77 centièmes pour la transmission de chacune des lettres d'une dépêche. D'une autre part, comme l'appareil reprend sa position première après chaque signal, les erreurs ne se perpétuent pas.

Les lettres de l'alphabet sont disposées sur un écran, comme l'indique la figure 5, pl. II. L'aiguille A s'articule à sa partie inférieure avec l'extrémité du bras B. Elle est tenue dans sa partie moyenne par la tige D, qui s'articule elle-

même avec l'extrémité du bras B′. Les deux bras B et B′ sont fixés sur deux douilles qui tournent librement autour de l'axe des roues à chevilles R et R′. Ces deux roues sont mises en mouvement par deux appareils d'horlogerie indépendants l'un de l'autre. Les ancres C et C′ gouvernent leurs mouvements, sous la double action d'un système d'aimants et d'électro-aimants semblable à celui que j'ai décrit page 226, 1er vol. Le courant positif agit sur la roue R, le courant négatif sur la roue R′.

La douille du cylindre sur lequel est fixé le bras B porte un second bras E qui soutient un cliquet F disposé en arc de cercle. Ce cliquet accroche les chevilles de la roue R, et oblige ainsi le cylindre creux et le bras B à suivre le mouvement de cette roue. Le bras B′ est soumis de la même manière au mouvement de la roue R′.

L'appareil est en repos dans la position indiquée par la figure. Si l'on envoie le courant positif, la roue R échappe la branche de l'ancre qui la soutenait et retombe sur l'autre branche; elle avance ainsi de la moitié de l'intervalle de deux chevilles. Au même instant la cheville x soulève le balancier MM, la cheville x entraîne le cliquet F et le bras B, et l'aiguille est portée sur la lettre *E*. Si le courant est aussitôt rompu, la roue R échappant de nouveau, avance encore d'une égale quantité, et l'aiguille est élevée sur la lettre *A;* si le courant positif est envoyé de nouveau, l'aiguille arrive sur la lettre *O*, et ainsi de suite. Le courant positif porte ainsi l'aiguille sur toutes les lignes horizontales de l'écran.

Le courant négatif agit d'une manière analogue sur la roue R′, et sur le bras B′, qui pousse l'aiguille vers la droite et la porte sur chaque colonne verticale.

Si, après avoir envoyé le courant positif, on envoie le courant négatif, c'est la lettre *N* qui est indiquée. En effet, le courant positif élève l'aiguille à la seconde ligne; son

interruption l'amène à la troisième, et le courant négatif, qui survient alors, la reporte à la seconde colonne où la lettre *N* se trouve. On comprend qu'on peut ainsi porter l'aiguille sur toutes les lettres de l'écran; mais on remarquera que la seconde et la quatrième ligne ne porte que trois lettres au lieu de six ; les points d'intersection qui restent en blanc correspondent au temps d'activité des deux courants; on ne pourrait y arriver qu'en animant les deux courants à la fois, ce qui est impossible, si l'on n'emploie pas deux piles et deux fils conducteurs.

Le signal ainsi donné, il s'agit de ramener l'aiguille dans sa position première, dès qu'il a pu être observé. Pour cela, il faut décrocher les cliquets F et F′ après le temps justement nécessaire pour l'observation. Tel est l'objet du balancier M M et de l'appareil *gouverneur* que je vais décrire.

N est un rochet d'encliquetage à dents très-petites et très-nombreuses. Il est fixé avec le balancier M M sur un axe creux qui enveloppe celui de la roue L. Cette roue est mise en mouvement par un mécanisme spécial dont la vitesse est régularisée par un volant muni d'ailes qu'on ouvre plus ou moins. Le balancier M M porte à ses deux extrémités deux palettes inclinées qui s'engagent entre les chevilles des roues R et R′ comme l'indique la figure ; les chevilles poussent ces palettes lorsque les roues se mettent en marche et relèvent ainsi le balancier ; le cliquet *z* accroche alors le rochet N à quelques dents en arrière ; le balancier revient ensuite par l'action du ressort Z, suivant la vitesse de la roue L, qui est convenablement réglée. Dans la rapidité des mouvements des roues R et R′, une seconde cheville relève le balancier M avant qu'il soit arrivé à décrocher les cliquets F et F′; mais dès que les deux roues se sont arrêtées le temps nécessaire pour l'observation du signal, les palettes du balancier sont librement descendues

dans l'intervalle des chevilles; elles décrochent alors les deux cliquets à la fois. L'aiguille indicatrice est aussitôt dégagée des roues R et R′, elle retombe dans sa position première par l'action des ressorts X et X′. Les cliquets F et F′ portent un cran dans lequel les palettes du balancier M se placent au temps de repos.

On remarquera que les palettes du balancier M M ne sont soulevées qu'au moment où les roues R et R′ échappent par l'action du courant électrique. et qu'elles ne sont plus relevées lorsque ces roues échappent par son interruption. Il résulte de cette disposition, que lorsqu'on soutient l'activité du courant pour arrêter l'aiguille sur certains signaux la palette du balancier retombe derrière la cheville qui l'a soulevée, et qu'elle glisse entre les chevilles lorsqu'on interrompt le courant pour reprendre un autre signal. Dans ce dernier mouvement, qui replace le mécanisme dans sa position première, les cliquets F et F′ reviennent simplement buter contre la cheville suivante pour être prêts à partir avec elle au premier mouvement.

Voici maintenant le tableau des mouvements nécessaires pour porter l'aiguille sur chacune des lettres de l'écran. Le courant positif est indiqué par P, le courant négatif par N; P et N désignent ces courants soutenus pour arrêter l'aiguille sur certaines lettres au temps d'activité.

A	P	*N*	P N
B	P P P	*O*	P P
C	N P N	*P*	P P N
D	N N	*Q*	N N P
E	P	*R*	P N
F	N N N	*S*	N
G	N P N	*T*	N P
H	P N P N	*U*	N N
I	N	*V*	P N P

J	P P P	*X*	N N N
K	N N P N	*Y*	P P N P
L	P P	*Z*	N P N P
M	P N P		

Ainsi, les lettres *b*, *e*, *m*, *o*, *q*, *t*, *y* et *z*, sont données par le courant positif soutenu; les lettres *c*, *f*, *h*, *k*, *n*, *p*, *s*, *u*, par le courant négatif; et les autres lettres par le temps de repos de l'un et de l'autre courant. Il suffit d'envoyer une seule fois le courant pour les quatre lettres *a*, *e*, *i*, *s*; deux fois pour les sept lettres *d*, *l*, *n*, *o*, *r*, *t*, *u*; trois fois pour les dix lettres *b*, *c*, *f*, *g*, *j*, *m*, *p*, *q*, *v*, *x*; et quatre fois pour les quatre lettres *h*, *k*, *z*, *y*. En tenant compte de l'emploi fréquent des lettres que j'indique par un ou deux mouvements, et de la rareté de celles que j'indique par trois ou quatre, on trouve, par un calcul facile qu'il suffit, en moyenne, de 1 mouvement 77 centièmes pour la transmission de chacune des lettres d'une dépêche.

L'appareil qui vient d'être décrit peut être considéré comme le principe du télégraphe à écran. Mais on peut lui faire subir dans l'application un certain nombre de modifications avantageuses. Ainsi, ces trois mouvements d'horlogerie distincts qui en font mouvoir les diverses parties, peuvent être réduits à deux, et même à un seul.

A la place des deux roues à chevilles, mises en mouvement par des appareils d'horlogerie, on dispose deux rochets R et R′ (fig. 6, pl. II) qui tournent librement sur leurs axes; on remplace, d'un autre côté, les deux cliquets arqués qui s'articulent à l'extrémité des bras E et E′ par deux cliquets ordinaires *v* et *v*′. Les ressorts X et X′ agissent en sens inverse; au lieu de ramener les bras B et B′, lorsque le signal est indiqué, ils leur donnent, au contraire, le mouvement qu'ils doivent suivre pour porter l'aiguille sur

les signaux de l'écran. Mais, comme les cliquets *v* et *v'* transmettent aux rochets le mouvement des bras É et E', ceux-ci n'avancent que chaque fois qu'une oscillation des ancres produit un échappement.

Il ne s'agit plus que de ramener le système dans sa position première, après l'observation du signal : c'est l'objet du *tourniquet remonteur* TT. Ce tourniquet est mis en mouvement par un appareil d'horlogerie. Il échappe l'ancre O P après chaque signal et fait un demi-tour. Les cames placées à ses deux extrémités atteignent dans ce mouvement les bras E et É', et les font ainsi remonter dans leur position première.

Cet effet se produit de la manière suivante : L'ancre OP porte une longue tige L, dont l'extrémité s'engage entre les branches de la petite ancre de double échappement *m n* qui reçoit les mouvements du balancier MM par la tige *t*, et par la tringle S. Le balancier M M oscille librement sur l'axe du tourniquet T; il se termine par deux palettes qui s'engagent entre les dents des rochets. Ces dents le repoussent en arrière et le tiennent relevé pendant la succession des mouvements rapides qui forment les signaux; il ne revient dans sa position première qu'après le temps nécessaire pour leur observation. Son mouvement est réglé, à cet égard, par un *gouverneur hydraulique*, semblable à celui que M. Brett emploie dans son télégraphe imprimeur, ou par un *gouverneur atmosphérique*, construit d'après le même principe; ou bien encore par un simple volant à ailes très-larges et très-légères, qu'il faut faire mouvoir en poussant un rochet d'encliquetage à son mouvement de retour.

Quand l'appareil est en repos, le tourniquet T s'appuie sur le plan incliné P de l'ancre OP. Le premier mouvement du rochet, en repoussant le balancier M, fait échapper la branche *n* de l'ancre *m n*, et par contre-coup le

plan incliné P de l'ancre OP; le tourniquet T vient alors s'arrêter contre le plan incliné O. Lorsque le balancier est revenu dans sa position première, en suivant le mouvement réglé par le *gouverneur*, la branche *m* de l'ancre *m n* échappe à son tour; le plan incliné O échappe par le même mouvement, et le tourniquet fait un demi-tour, en entraînant avec lui les bras E et E′ qu'il replace dans leur position première.

Lorsque le signal est indiqué par un temps d'activité du courant électrique, le rochet doit encore faire un mouvement pour revenir au temps de repos, après que le tourniquet a fait remonter les bras E et E′. Pour éviter que ce mouvement ne déplace le système de la position qu'il doit prendre, il suffit de faire remonter les bras E et E′, à un demi-intervalle au delà de la position dans laquelle ils doivent être arrêtés définitivement. Si le signal est donné par un temps d'activité, le cliquet rencontre, en cet endroit, la dent qui doit l'entraîner d'un demi-intervalle dans la position voulue, dès que le courant est interrompu. Si le signal est donné par le temps de repos du courant, le cliquet étant remonté à l'endroit qui forme le milieu de l'intervalle de deux dents, retombe naturellement contre celle de ces dents sur laquelle il doit définitivement s'arrêter.

Télégraphe à chiffres combinés. — Le télégraphe à chiffres combinés ne diffère du télégraphe à écran que par le mode de réception des signaux. A l'extrémité des bras B et B′, qui sont placés vis-à-vis l'un de l'autre, sont fixés deux arcs de cercle, ayant chacun dix divisions, sur lesquelles sont écrits les chiffres 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Quand l'appareil est en repos, les deux zéros sont en présence l'un de l'autre, ils apparaissent ensemble par une ouverture pratiquée pour l'observation des signaux. On comprend qu'on peut former tous les nombres jusqu'à 99, en combinant les chiffres d'un arc avec ceux de l'autre. Le système

qui est à droite donne le chiffre des unités, celui qui est à gauche donne le chiffre des dizaines : le premier est commandé par le courant positif, le second par le courant négatif; les chiffres pairs apparaissent pendant le temps de l'interruption du courant; les chiffres impairs pendant le temps d'activité. Comme on ne peut animer les deux courants à la fois, il n'est possible que d'indiquer les nombres composés de deux chiffres impairs comme 11, 23, 37 ; au lieu de 99 signaux, on ne peut en former que 74. Cette perte d'un quart est inévitable, à moins qu'on n'emploie deux piles et deux fils conducteurs.

M. Régnard a cherché encore plusieurs combinaisons mécaniques pour rendre la marche des télégraphes à cadran plus prompte, en employant les deux effets que peuvent fournir les inversions du courant. Ainsi il a pensé qu'on pourrait faire réagir l'une de ces inversions sur un cadran mobile portant six grandes divisions, par exemple, et l'autre sur une étoile ayant un pareil nombre de rayons; par ce moyen, la division du cadran qui contiendrait la lettre qu'on voudrait indiquer serait portée dans une position déterminée où l'une des pointes de l'étoile viendrait la chercher. On pourrait encore disposer deux étoiles, l'une à cinq rayons et l'autre à six, sur un cadran fixe ayant trente divisions, et indiquer chacune de ces divisions par la coïncidence d'un rayon de l'une des étoiles avec un rayon de l'autre.

3° TÉLÉGRAPHES ÉCRIVANTS.

Depuis que le télégraphe américain a fait invasion en Europe, on attribue généralement à M. Morse l'invention des télégraphes écrivants. Nous avons dit page 15, quelle était notre opinion à cet égard, et quelle part devait être attribuée, selon nous, à ce savant, dans la réalisation du beau problème de la télégraphie électrique. Nous

croyons notre appréciation dégagée de toute arrière-pensée et de tout esprit de partialité. En conséquence, nous répéterons jusqu'à preuve contraire, que c'est M. Steinheil qui est le véritable inventeur des télégraphes écrivants.

Cela dit en passant, nous allons étudier avec détail tous les appareils qui ont rapport à ce système télégraphique.

Système Morse. — Un télégraphe Morse se compose de quatre éléments distincts : 1° d'un système électro-magnétique qui reçoit l'impression électrique transmise à distance; 2° d'une bascule armée d'un style qui traduit par un mouvement mécanique les réactions électriques exercées sur le système magnétique; 3° d'un système mécanique ou mouvement d'horlogerie qui, en déroulant une bande de papier devant le style, permet à celui-ci de laisser une trace durable des différents mouvements qu'il accomplit; 4° enfin d'un appareil transmetteur réagissant sur le courant électrique.

Dans l'appareil primitif de M. Morse, le système électro-magnétique se composait d'un électro-aimant (de la forme décrite page 208, 1er vol., dont les branches étaient placées verticalement les pôles dirigés en haut, et dont les rondelles étaient, pour un motif dont je ne me suis pas rendu compte, réunies par des traverses métalliques. Enfin le rapprochement des pôles de cet électro-aimant permettait de rendre l'armature d'un petit volume, condition comme nous l'avons vu, essentielle pour la célérité de la marche de l'appareil.

La bascule porte-style fixée horizontalement au-dessus de l'électro-aimant, se terminait d'un côté par une petite tige cylindrique de fer doux qui constituait l'armature de l'électro-aimant, de l'autre par une pointe émoussée d'acier qui constituait *le style.* Cette bascule, dont les mouvements étaient limités par deux vis butoirs placées des deux côtés de son point d'articulation, était maintenue dans une position fixe

par une lame de ressort très-flexible et très-longue, fixée en dehors de l'électro-aimant sur une équerre de cuivre. Cette lame de ressort appuyant sur une attache adaptée à la bascule du côté du style, tenait lieu des ressorts antagonistes à boudin qu'on a employés depuis.

Le système mécanique destiné à conserver les traces des mouvements du style se composait d'un mécanisme d'horlogerie à trois mobiles dont le mouvement était communiqué à un système de deux cylindres parallèles appuyant l'un contre l'autre, et formant laminoir. Une bande de papier sans fin, enroulée en provision sur une grande roue d'un jeu un peu difficile, passait entre les deux cylindres du laminoir, et se trouvait par conséquent entraînée, lorsque le mécanisme d'horlogerie était dégagé; enfin un troisième cylindre, placé précisément au-dessus du style et portant entaillée perpendiculairement à son axe une petite rainure, forçait la bande de papier à passer devant ce style. Pour que cette bande ne pût se déranger dans son mouvement, ce cylindre se terminait par deux rondelles saillantes.

Avec cette disposition on comprend que quand l'électro-aimant en devenant actif, attirait la bascule porte-style, celui-ci appuyait contre la bande de papier et y laissait son empreinte. Mais comme en même temps cette bande de papier se trouvait entraînée par le mouvement d'horlogerie, cette empreinte s'allongeait et formait des lignes d'autant plus longues que le courant était resté fermé plus longtemps à travers l'électro-aimant. Quand ce courant venait à cesser, la bascule porte-style se relevait, et son empreinte finissait. Pour une nouvelle fermeture de courant, de nouvelles traces étaient imprimées; et comme on pouvait faire varier la longueur de ces traces par le plus ou moins de temps qu'on maintenait le courant fermé, on pouvait, en combinant entre elles de différentes manières, les traces longues et les traces courtes (qui pouvaient être

des points), composer un alphabet et un vocabulaire aussi complet que possible.

Comme l'appareil que nous venons de décrire est entièrement sous le contrôle de l'employé qui transmet, puisque dans ce système les dépêches se trouvent imprimées et qu'au besoin, on peut même se passer de la présence d'un employé à la station qui reçoit, M. Morse dans l'origine, avait pensé à faire déclancher le mécanisme d'horlogerie commandant le mouvement de la bande de papier par l'électro-aimant lui-même. Pour cela, il avait articulé à la bascule porte-style et au-dessous d'elle, une tige métallique AB (fig. 14, pl. II), soutenant un levier coudé de détente CBD. Ce levier était fixé sur l'axe d'une poulie isolée Q, qui recevait son mouvement du barillet du mécanisme d'horlogerie au moyen d'une corde très-faiblement tendue. A l'état normal, ce levier était appuyé contre la circonférence d'un disque d'arrêt E appartenant à un dernier mobile du mécanisme moteur, et pouvant facilement en arrêter le mouvement; mais quand il était soulevé, ce qui avait lieu quand l'électro-aimant devenait actif, ce mécanisme était mis en mouvement et ne s'arrêtait qu'au bout de quelques instants après même que l'électro-aimant était redevenu inerte, car le levier de détente CBD étant commandé par la poulie Q reliée au barillet du moteur, et cette poulie ne tournant que très-lentement, il fallait un certain temps pour que ce levier pût redescendre à portée du disque d'arrêt E. Par l'intermédiaire de ce mécanisme, la bande de papier se trouvait donc entraînée dès le commencement de la correspondance et ne s'arrêtait que quand une interruption du courant suffisamment prolongée, avait permis au levier de détente d'être redescendu complétement.

Ce mécanisme peut-être ingénieux pour l'époque, présentait plusieurs inconvénients qui en ont empêché l'adoption; d'abord à l'époque où les premiers télégraphes de

Morse ont été construits, les relais n'avaient pas encore été imaginés, et par conséquent la force réagissant sur la bascule porte-style, n'était pas suffisante pour vaincre le frottement de la corde sur la poulie du levier de détente, frottement qui devait être assez considérable, puisque cette poulie recevait son mouvement par cette corde. En second lieu, un tel système d'embrayage ne présente aucune sûreté et exige un réglage continuel. Nous verrons bientôt que M. Régnard a résolu beaucoup mieux ce problème. Du reste on ne semble pas avoir attaché une grande importance à ce système de déclanchement, et dans tous les télégraphes de ce système qui sont en ce moment en exploitation dans presque tous les pays, c'est l'employé lui-même qui déclanche le mécanisme moteur après avoir été averti par l'alarme ou simplement le bruit du relais.

Dans le premier système de M. Morse, c'était la tige réagissant sur le levier de détente du mécanisme précédent qui faisait fonctionner le marteau de la sonnerie.

Le transmetteur du télégraphe Morse consistait dans l'origine, dans un simple ressort terminé par une touche munie d'une pièce métallique et placé au-dessus d'une autre pièce également métallique que l'on avait appelée enclume. Un des pôles de la pile aboutissait à cette dernière, et le circuit de la ligne correspondait au ressort. Depuis, M. Morse a adopté pour ce transmetteur, la forme que nous avons représentée fig. 2, pl. III du premier volume; c'est un levier AB, articulé sur un petit support de cuivre, et muni de deux fortes vis. Au-dessous de ces vis, s'en trouvent deux autres C et D, solidement fixées sur le bâti de l'appareil et tenant lieu, l'une de l'enclume, l'autre de butoir d'arrêt. De cette manière, l'appareil peut être facilement réglé et avoir le jeu nécessaire pour une manipulation prompte et facile. Ainsi disposé, cet interrupteur a été nommé levier-clef, ou simplement clef du télégraphe Morse.

M. Morse a cherché pendant longtemps les combinaisons les plus simples et les plus faciles qui pussent s'appliquer aux différentes lettres de l'alphabet et aux chiffres; après bien des essais, voici l'alphabet auquel il s'est arrêté.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Y	Z	etc	1	2	3	4	5	6			
7	8	9	0								

Après avoir ainsi arrêté son alphabet télégraphique, M. Morse imagina, pour rendre la manipulation de la clef plus facile, de composer un commutateur alphabétique, dans lequel le nombre et la durée des fermetures et interruptions du courant, représentant les différents signaux, pouvaient être immédiatement obtenus sans aucune contention d'esprit, et par la simple friction d'une lame de ressort à travers plusieurs séries de plaques métalliques combinées convenablement. Pour obtenir ce résultat, il suffisait que les plaques correspondant aux fermetures longues du courant fussent plus larges que les autres, et que les espaces séparant ces plaques fussent plus ou moins étendus, suivant qu'ils devaient représenter des espaces serrés ou rapprochés. En incrustant dans une planche de bois ces différentes combinaisons de plaques, on avait donc un commutateur alphabétique à l'usage des plus ignorants.

En donnant plus d'extension à cette idée, M. Morse imagina d'entailler de petits morceaux de cuivre de même hauteur, de manière à leur faire représenter les diverses combinaisons qui devaient reproduire la désignation de chaque lettre. Ces entailles formaient, sur chacun de ces caractères, des espèces de dents de scie plus ou moins larges,

plus ou moins multipliées, plus ou moins écartées les unes des autres suivant qu'elles devaient fournir un ou plusieurs points, une ou plusieurs lignes, un grand ou un petit intervalle de séparation sur l'appareil récepteur. Tous ces caractères pouvaient être ensuite groupés, comme une composition d'imprimerie, dans un composteur; et il suffisait ensuite de faire passer, à l'aide d'une machine, le composteur sous un ressort pour opérer mécaniquement toutes les fermetures et interruptions de courant nécessaires pour transmettre la dépêche.

Dans un autre système, également combiné par M. Morse, le commutateur alphabétique dont nous avons parlé en premier lieu pouvait être disposé sur un cylindre de bois mû par un mouvement d'horlogerie. Alors, des touches à ressort, échelonnées le long du cylindre et portant à leur partie inférieure des galets métalliques, pouvaient, étant abaissées, rencontrer les différentes combinaisons de plaques conductrices voulues et produire les réactions électriques, en rapport avec la disposition de celles-ci.

Tous ces systèmes et plusieurs autres encore sont longuement décrits, et avec figures, dans l'ouvrage de M. Vail sur le télégraphe électrique américain, imprimé en 1847; ce qui n'a pas empêché plusieurs personnes d'*imaginer*, dans ces derniers temps, des moyens exactement semblables, et même de se disputer une priorité que ni les uns ni les autres n'étaient en droit de faire valoir. A ce sujet, je dois faire une remarque qui, malheureusement, peut s'appliquer à la plupart des personnes qui s'occupent de sciences et des applications des sciences, et même à beaucoup d'écrivains scientifiques dont le devoir devrait être de se tenir au courant de tout ce qui a rapport au sujet qu'ils traitent. C'est qu'elles travaillent beaucoup trop sur leur propre fonds sans se préoccuper de ce qu'ont fait les autres. En un mot, on ne lit pas assez. Qu'en résulte-t-il ?

On se donne beaucoup de peine pour trouver quelque chose, on dépense bien du temps, souvent même bien de l'argent; et quand cette invention est mise au jour, on est tout étonné de voir surgir de tous côtés des réclamations de priorité qui vous apprennent que la chose que vous avez cru inventer, et qui vous a coûté tant de travail, a été imaginée souvent bien longtemps avant vous. Les brevets ne signifient rien pour la constatation de la nouveauté d'une invention; comme ils sont donnés sans garantie du gouvernement, vous avez toute la responsabilité des réclamations qui peuvent être faites contre eux. Mais revenons aux clefs des télégraphes Morse.

Bien que toutes les dispositions que nous avons passées en revue précédemment soient très-ingénieuses et commodes pour suppléer au défaut d'habitude des employés, nous croyons qu'elles sont susceptibles de peu d'application pratique. En effet, après quelque temps d'exercice, les employés télégraphistes acquièrent une telle habitude du maniement des leviers-clef dont nous avons parlé, qu'ils transmettent par ce moyen les signaux plus vite qu'ils ne le feraient avec des clefs mécaniques. D'ailleurs, il ne faut pas se dissimuler qu'un certain amour-propre existe chez ces employés, et qu'ils cherchent souvent à se surpasser les uns les autres dans une manœuvre qui exige un certain talent. Or, cette espèce de lutte d'amour-propre tourne au profit du service télégraphique.

Pour être bonne, la manipulation de la clef doit être cadencée; les parties d'une même lettre entre elles seront régulièrement espacées, de même que les mots; les barres aussi bien que les points devront avoir une longueur uniforme. Pour obtenir ce résultat, c'est à l'oreille surtout de guider la main.

Depuis que les télégraphes Morse ont été adoptés sur la plupart des lignes télégraphiques d'Europe (sauf l'Angle-

terre et l'Espagne,) et d'Amérique, tous les constructeurs des deux mondes ont cherché à perfectionner l'appareil primitif. Mais en définitive, tous ces perfectionnements, qui ont tendu à diminuer le volume de l'instrument, ne diffèrent entre eux que par des changements de disposition des différentes pièces mécaniques qui le composent. Sous le rapport de la petitesse de son volume, le télégraphe militaire de M. Hipp de Berne l'emporte sur tous les autres. Ce constructeur, en effet, est parvenu à renfermer tout l'appareil, avec sa pile, les fils conducteurs, et même un rouleau de papier de rechange, dans une petite boîte qui n'a guère que 25 centimètres de longueur sur 10 de largeur et 15 de hauteur. Cet appareil, d'ailleurs admirablement construit, a valu à son auteur une médaille d'or à l'Exposition universelle de 1855.

Les autres artistes qui se sont le plus distingués à cette même exposition, dans la construction des télégraphes Morse, sont MM. Breguet, Laumain et Briquet, Mouilleron, Loiseau, et Gintl de Vienne. Ne pouvant décrire tous ces appareils, et n'ayant pas d'ailleurs à ma disposition les renseignements suffisants pour en parler sciemment, je me contenterai de faire la description du télégraphe de MM. Mouilleron et Anthoine, que nous avons représenté fig. 7 et 8, pl. II.

Les perfectionnements que M. Mouilleron a apportés au télégraphe Morse, que nous avons décrit, consistent: 1° dans l'isolement complet du mécanisme enregistreur, du mouvement d'horlogerie; 2° dans la suppression du cylindre de conduite du papier, et une disposition particulière des cylindres moteurs, qui permet d'enlever et d'introduire facilement la bande de papier dans l'appareil, tout en le maintenant dans une direction constamment fixe; 3° dans l'adjonction à l'appareil d'un *translateur* destiné à faire réagir l'électro-aimant du récepteur comme un relais; dans la

substitution d'un barillet aux contre-poids; 5° enfin, dans certaines dispositions mécaniques imaginées dans le but soit de pouvoir facilement changer les contacts des organes électriques lorsqu'ils sont oxydés, soit d'empêcher le bruit de la clef dans les bureaux télégraphiques où se trouvent réunis un certain nombre de télégraphes.

La fig. 7 représente l'élévation de l'appareil :

M est l'électro-aimant;

A l'armature de cet électro-aimant;

ABC la bascule porte-style;

E le style constitué par une vis de rappel, afin qu'on puisse facilement régler;

BD le levier du translateur qui oscille entre deux têtes de vis G, G'. Ces vis, destinées à fermer un courant électrique à chaque battement du levier BD, servent en même temps à limiter la course du levier ABC, et pour cela elles présentent des trous *a* au moyen desquels on peut les avancer ou reculer. Les têtes de ces vis sont elles-mêmes mobiles, à frottement dur, sur leur axe; et, comme le contact électrique s'opère dans le voisinage de leur circonférence, on peut, en les tournant à la main, déplacer le point de contact lorsqu'il est oxydé;

R est le ressort antagoniste de l'armature. F et H sont les cylindres moteurs de la bande de papier dont l'un, F, est mû par le mécanisme d'horlogerie; ce cylindre, à surface rugueuse, est légèrement concave dans sa partie moyenne, tandis que l'autre, H, est légèrement convexe; mais ils sont ajustés de manière à pouvoir s'emboîter exactement l'un dans l'autre. Ce dernier H porte au milieu de sa rotondité une rainure placée exactement en face du style E;

IK est le support du cylindre H; il est articulé, à frottement en K, et peut être par conséquent soulevé et abaissé, ce qui permet de retirer ou de placer aisément la bande de papier entre les deux cylindres;

La tête de vis V correspond à un système de vis à deux filets contraires représenté fig. 8, au moyen duquel le guide de la bande de papier peut être élargi ou rétréci, suivant la largeur de cette bande;

L est le carré pour la clef du mouvement d'horlogerie;

O est la roue sur laquelle est enroulée en provision la bande de papier PPP;

Enfin, T représente le levier de détente du mécanisme d'horlogerie; son jeu est limité par deux butoirs *t*, *t'*.

Le relais S renfermé, comme mécanisme d'horlogerie des récepteurs dans une cage de glaces, a une disposition que l'on comprendra beaucoup plus facilement sur la fig. 8.

La fig. 8 représente le plan horizontal de l'appareil.

Les lettres que nous avons employées dans la fig. 7 s'appliquent aux mêmes organes représentés vus en plan dans cette nouvelle figure.

Le mécanisme d'horlogerie est renfermé dans la boîte XXXX. Il est à 5 mobiles, et le dernier de ces mobiles, U, est une vis sans fin, portant des ailettes susceptibles de se replier ou de se développer plus ou moins afin d'accélérer ou de modérer la vitesse de déroulement de la bande de papier, suivant que le ressort du barillet est plus ou moins tendu. A cet effet, ces ailettes sont articulées sur un axe commun et se trouvent à l'état de repos, rabattues les unes sur les autres sous l'action de deux petits ressorts spiraux. Lorsque l'appareil fonctionne, la force centrifuge agit sur ces ailettes et les ouvre d'autant plus que le mouvement, dont elles sont animées est plus rapide; par conséquent, ce que le ressort du barillet gagne en tension, il le perd en résistance, et réciproquement.

La longue vis Y sert à serrer l'articulation sur pointes du levier porte-style ABC, ou à le dégager complétement.

Le relais de M. Mouilleron se compose : 1° d'un électro-aimant *m m*, fig. 8, maintenu sur la planchette-support par

une traverse *bb* et une vis *c*; 2° d'une armature *dd*, articulée en *d*, *d* sur une potence *deed* qui elle-même est fixée sur une colonne *f*. Cette armature porte une queue *q* munie d'une lame de platine qui, en rencontrant la vis *p* adaptée à la colonne *f*, établit les contacts du relais. Les fers de l'électro-aimant étant mobiles à l'intérieur des bobines, peuvent être reculés ou avancés au moyen d'une vis *r* fixée sur une colonne *s*, de manière à être à la distance nécessaire de l'armature *d d*. Enfin, sur cette même colonne *s* se trouve adapté un treuil *u* terminé par une poulie *x* sur laquelle s'enroule le fil de soie du ressort antagoniste fixé à la queue *q* du relais.

Les bornes 1 et 2 sont celles qui correspondent au relais, l'une 1, est en rapport avec la ligne télégraphique, l'autre 2, est en communication avec la terre. Les bornes 3 et 4 correspondent aux deux pôles de la pile locale de la station qui doit faire marcher l'électro-aimant M du récepteur. Les deux autres bornes 5 et 6 correspondent au translateur, c'est-à-dire aux deux contacts alternativement touchés par le levier BD (fig. 7). Enfin la borne n° 7, en rapport métallique avec le levier BD, est reliée à la clef. Le but de ce translateur se comprend aisément si l'on réfléchit que l'électro-aimant M ne fonctionne que sous l'influence d'un petit nombre d'éléments de la pile locale, mis en action par le relais S. Or, si l'on veut que la dépêche envoyée soit transmise à une station plus éloignée, il faut que la batterie tout entière de la station, c'est-à-dire la *pile de ligne*, soit mise en action, et c'est alors la bascule de l'électro-aimant M qui remplit les fonctions du relais S, par rapport au récepteur de la station éloignée. Sans doute, au moyen d'un commutateur, on aurait pu diriger à volonté, sur le relais S, le courant de la pile de ligne ou de la pile locale. Mais on a reconnu que ce système pouvait avoir de graves inconvénients dans la pratique, surtout à cause du réglage de ces relais. De là, l'idée de faire

fonctionner l'appareil récepteur en relais. Nous étudierons, du reste, plus tard avec détail, à l'article des accessoires télégraphiques, le jeu de ce nouvel organe électro-télégraphique.

Disons, pour terminer, ce qui a rapport au télégraphe Mouilleron, que dans une nouvelle disposition de cet appareil le mécanisme d'horlogerie est remplacé par un moteur électro-magnétique fonctionnant ainsi que l'électro-aimant du style sous l'influence d'une pile locale. Cet électro-moteur a sa vitesse régularisée au moyen d'un petit régulateur à force centrifuge analogue à celui des machines à vapeur. Cette régularisation s'opère par l'ascension ou la descente d'un petit contre-poids que soulèvent les boules du régulateur, et qui, en rencontrant deux disques en connexion avec le courant, interrompent celui-ci ou interposent dans le circuit une pile additionnelle. Nous aurons, du reste, occasion de parler de ce moteur à la fin du volume, au chapitre des électro-moteurs.

Il paraîtrait que ce système pourrait avoir des avantages dans la pratique, en épargnant à l'employé le soin et les inconvénients du remontage du mécanisme des télégraphes, qu'il est souvent obligé d'effectuer au milieu de la transmission d'une dépêche.

Télégraphe écrivant de M. Froment. — Le télégraphe écrivant de M. Froment est fondé sur le même principe que celui de M. Morse ; seulement le style, au lieu de se mouvoir perpendiculairement à la surface du cylindre, se trouve animé d'un mouvement horizontal dans le sens de sa génératrice. Il résulte de cette combinaison que les traces laissées par le style, au lieu de se composer de lignes et de points, dessinent des jambages plus ou moins multipliés, plus ou moins espacés les uns des autres qui, groupés ensemble, peuvent constituer un alphabet assez simple et facile à lire. La fig. 12, pl. II, peut donner une idée de ce genre de signaux.

Comme un style en acier aurait pu déchirer la bande de papier, ne trouvant pas au-dessous d'elle de rainure capable de la faire gaufrer, M. Froment a pris pour style un simple crayon de mine de plomb qu'il maintient taillé à l'aide d'un petit mécanisme particulier. Ce mécanisme se compose d'une petite roue à rochet R, fig. 9, pl. II, qui surmonte le porte-crayon, et contre les dents de laquelle appuie une petite lame de ressort S, fixée au bâti de l'appareil. Comme ce porte-crayon est très-incliné sur le cylindre, et que les mouvements de va-et-vient qui lui sont communiqués par le levier porte-style L ont pour effet de faire tourner la roue R, il en résulte que le crayon en s'usant s'appointit et est toujours capable de laisser des traces nettes et visibles. On peut se faire une idée exacte de la disposition de l'appareil par l'inspection de la fig. 9, pl. II.

EE est l'électro-aimant.

AA l'armature de cet électro-aimant qui pivote entre deux pointes V, V′.

L est le levier porte-style fixé sur l'armature. Il est assez long pour tracer des jambages distincts avec une très-faible course de l'armature.

C, C′, C″, sont trois cylindres formant laminoir, et destinés à entraîner la bande de papier BB. L'un C′ de ces trois cylindres est mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie placé latéralement à l'appareil électro-magnétique.

Pour transmettre la dépêche, M. Froment la compose d'avance en signaux télégraphiques, découpés sur une bande de papier, à l'aide d'une machine spéciale à clavier, et cette bande de papier ainsi préparée est mise dans l'appareil transmetteur. Celui-ci, qui consiste simplement dans un ressort en rapport avec l'une des branches du courant et dans un cylindre métallique en rapport avec l'autre branche, est disposé de telle façon qu'il ne laisse subsister l'action électrique que quand le ressort, se trouvant engagé dans les

trous de la bande, est en contact métallique avec la roue ur laquelle il glisse. Il suffit donc de faire mouvoir cette bande avec une vitesse en rapport avec celle du tambour récepteur de la station opposée, pour obtenir le nombre d'interruptions nécessaires à l'impression de la dépêche.

Télégraphe écrivant de M. Dujardin. — La seule différence qui existe entre le télégraphe écrivant de M. Dujardin et celui de M. Morse, consiste dans le mode d'enregistrement de la dépêche. Ainsi, au lieu d'une bande étroite de papier entraînée d'une manière progressive et continue, M. Dujardin emploie une large bande de papier enroulée sur un cylindre dont le mouvement de rotation se trouve combiné avec un mouvement de translation. A cet effet, l'axe de ce cylindre est muni, d'un côté seulement, d'un long pas de vis qui, en tournant dans une filière, fait avancer le système longitudinalement. Il résulte de cette disposition que le style appuyant contre ce cylindre laisse pour traces des portions d'hélice plus ou moins longues, qui ne peuvent jamais se superposer et qui se trouvent, au contraire, rangées les unes à côté des autres dans toute la largeur de la ande de papier.

Le style employé par M. Dujardin est une pointe métallique qui se trouve toujours empreinte d'encre grasse par son immersion constante dans un encrier placé à portée. Les traces laissées par ce style sont des lignes et des points absolument comme dans le système Morse.

Ce système télégraphique a été disposé pour marcher avec des courants d'induction; il a fourni, suivant M. Leverrier, un bon résultat, bien qu'on l'ait fait fonctionner directement à une distance double de Paris à Lille.

Modifications apportées au système Morse par M. Glœsener. Pour obtenir plus de promptitude dans la transmission des signaux, au moyen du télégraphe Morse, M. Glœsener emploie un double système d'électro-aimants à armatures

aimantées réagissant sur deux styles différents, et utilise à la transmission du courant le mouvement de recul de la clef.

Il résulte de cette disposition du système que pour un même nombre de mouvements imprimés à la clef, on peut obtenir deux fois plus de transmissions électriques, et que pour un nombre moins grand de ces transmissions électriques on obtient beaucoup plus de combinaisons alphabétiques.

La clef du télégraphe de M. Glœsener se compose : d'un axe horizontal d'acier V, fig. 15 pl. II, adapté à un support de bois B, d'une manivelle M ajoutée à l'axe V, d'un fort ressort S, destiné à rappeler et à maintenir la manivelle dans sa position initiale, d'une pièce rectangulaire en ivoire I, fixée sur la manivelle, et portant deux disques semi-circulaires A et A′ parallèles, et isolés l'un de l'autre. Le disque A′ n'a qu'une seule dent *c*; l'autre est muni de deux dents à rochet *a* et *b*, séparées par un intervalle assez large, et porte une petite tige horizontale d'acier *t* à laquelle est adaptée une plaque d'ivoire. Sur celle-ci sont taillés deux petits plans inclinés en sens inverse, qui laissent entre eux la face supérieure de la tige à nu sur une largeur de 1 à 1 1/2 millimètre. Un ressort Z communique avec le disque A et le pôle + de la batterie principale; un autre ressort C avec le disque A′ et le pôle —. Trois ressorts R, R′ et R″ ajustés sur le support B qui porte l'axe V, doivent satisfaire aux conditions suivantes : 1° Lorsque la manivelle M est dans la position de repos ou initiale, le ressort R, réuni au fil de la ligne, doit communiquer avec le disque A′ et toucher l'une de ses dents, par exemple *a*; le ressort R″, uni par un fil conducteur au relais du récepteur de la station qui transmet, doit communiquer avec la tige *t*, et, par conséquent avec le disque A′ qui la porte; mais dans cette position le ressort R′, en communication avec la terre, ne doit jamais communiquer avec ce disque A′. Dans ce

cas, on peut recevoir, mais non pas envoyer des dépêches.

2° Dès qu'on met en mouvement la manivelle de la gauche vers la droite, les deux disques A et A′ et la tige *t* tournant de la droite vers la gauche, le ressort R″ glissant sur le plan incliné de droite, s'isole de la tige *t*; immédiatement après, le ressort R′ touche le disque A par la dent *c*, tandis que R continue de rester en contact avec le disque A′. Dans cette position de la clef on peut transmettre, mais non pas recevoir des nouvelles.

3° Lorsqu'on tourne la manivelle M de la droite vers la gauche, le ressort R″, glissant sur le plan incliné de gauche, est isolé; R vient en contact avec la dent *c* du disque A, et R′ avec la dent *b* du disque A′; par conséquent la direction du courant est changée et l'on peut de nouveau transmettre, mais non pas recevoir.

On assure les contacts entre les disques et les ressorts, en fixant au-dessus de ceux-ci des lames ou vis d'arrêt. Il faut, en outre, donner aux dents des disques une largeur convenable et les espaces assez longs pour qu'elles puissent remplir les conditions indiquées plus haut.

La clef que nous venons de décrire est, suivant M. Glœsener, d'un emploi très-facile. Il suffit de faire mouvoir vivement la manivelle de droite à gauche et *vice versâ*, jusqu'au point d'entrer en contact avec une plaque d'arrêt fixe; la forte résistance qu'on éprouve et le bruit sec qu'on entend chaque fois qu'elle frappe cette dernière, indique que l'appareil fonctionne convenablement.

C'est la faculté que donne cette clef de pouvoir changer la direction du courant et de le faire agir après chaque oscillation simple, qui fait que dans le nouveau système on produit cent signaux alors qu'on n'en transmet que cinquante dans l'ancien.

Le récepteur du télégraphe écrivant de M. Glœsener se compose de deux électro-aimants fixés parallèlement, l'un

devant l'autre, et dont les armatures aimantées juxtaposées portent chacune un levier recourbé rectangulairement. L'un de ces leviers soutient directement l'un des styles, l'autre levier réagit à l'extrémité d'une bascule qui porte l'autre style. De cette manière, les mouvements attractifs des électro-aimants, quoique de sens opposé, exercent le même effet sur les styles, qui dès lors peuvent laisser leur empreinte sur la bande de papier placée au-dessus d'eux, laquelle est entraînée par un mouvement d'horlogerie comme dans tous les systèmes de ce genre.

Avec cette disposition, toutes les fermetures et interruptions de courant produites par la clef, quand elle est manœuvrée vers la gauche réagissent sur un des styles, et toutes les fermetures et interruptions produites par cette même clef, lorsqu'elle est tournée vers la droite, ont action sur l'autre style; il devient donc facile ainsi d'avoir une correspondance télégraphique imprimée sur deux lignes différentes. Toutefois, quand il s'agit de transmettre une dépêche à longue distance, il devient nécessaire d'employer un relais. Dans ce cas, c'est le relais qui possède les armatures aimantées, et alors les électro-aimants du récepteur peuvent n'avoir que des armatures de fer doux, car le courant de la pile locale se trouve distribué dans l'un ou l'autre de ces électro-aimants par celle des armatures du relais qui est mise en fonction. Nous avons décrit page 285 (1er vol.), un relais de ce genre.

Le mode d'annotation des signaux télégraphiques sur deux lignes parallèles, au moyen de deux styles n'est pas nouveau. Nous avons vu que M. Steinheil l'avait employé dans son premier télégraphe, et depuis lui, M. Stæhrer de Leipzig a cherché à le mettre en pratique en Saxe. Pour obtenir ce résultat, M. Stæhrer emploie deux clefs au manipulateur deux électro-aimants et deux styles au récepteur, et un relais composé de deux aimants artificiels, de

deux armatures aimantées et d'un électro-aimant. Voici l'alphabet qu'il a adopté.

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n
—	—.	..	.—	.	—.	.—	.	.	..	..	...	..

o	p	q	r	s	t	u	v	w	z
...	.	.—	..	.	.	—	—	..	..

En général on écrit les signes représentant les lettres sur la même ligne, mais on compose l'alphabet de trois manières différentes : 1° avec quatre signes élémentaires : de courtes et de longues lignes, des points également espacés et des points inégalement espacés ; 2° avec trois signes élémentaires diversement combinés, des lignes, des points également espacés et des points inégalement espacés ; 3° avec deux lignes élémentaires, des lignes et des points différemment combinés.

Le mode de représenter les lettres par des points et des lignes, est le plus simple de tous. Soixante-douze points et lignes convenablement réunis suffisent pour former à l'exemple de M. Steinheil, toutes les lettres de l'alphabet. M. Stæhrer compose tout l'alphabet avec cinquante seulement, d'où il résulte que son télégraphe transmet les dépêches avec plus de rapidité que ceux qui n'écrivent qu'avec un seul style.

M. Gloesener a voulu encore appliquer son système de clef à renversement de pôles au télégraphe Morse ordinaire pour le rendre susceptible de marcher sans relais. Pour cela il emploie quatre électro-aimants verticaux, réagissant sur deux palettes de fer fixées en croix sur le levier-bascule portant le style. Sous l'influence de chaque fermeture de courant, le style est abaissé, et par suite du renversement de ce courant, le magnétisme rémanent est détruit, ce qui permet à un ressort antagoniste de relever le style ; toutefois malgré ce changement de direction du courant, ce style se trouve attiré de nouveau et marque

une seconde fois. En opérant avec rapidité, dit M. Glœsener, le style écrit de la même manière que s'il était mû par une pile locale. S'il faut en croire le même auteur, il aurait pu imprimer directement une dépêche à une distance de 50 kilomètres avec une vieille pile de Daniell de six éléments.

Système de M. Régnard. — L'idée d'appliquer des électro-aimants à armatures aimantées au télégraphe Morse, pour lui faire fournir deux séries parallèles de signaux écrits, a été reprise dernièrement par M. Régnard, qui a combiné dans ce but un système ingénieux dont nous croyons utile de dire quelques mots, et qui est tout à fait différent de ceux que nous venons d'étudier.

D'abord son système électro-magnétique a une disposition particulière que nous avons décrite avec détails, page 226, 1er vol. En second lieu, l'action électrique n'intervient que pour déclancher des mécanismes d'horlogerie auxquels est confié, non-seulement l'entraînement de la bande de papier, mais encore la marche des styles eux-mêmes. Ce télégraphe est représenté en principe, fig. 10, pl. II.

Dans cette figure XY, X′Y′ représentent les deux électro-aimants droits réagissant sur les deux armatures aimantées A B, A′B′ articulées en C et C′. Ces armatures portent des ancres d'échappement A m, A′ m' qui commandent deux roues à chevilles R et R′ appartenant à deux mécanismes d'horlogerie différents. Sur les chevilles x et x' de ces roues d'échappement appuient, pressées qu'elles sont par des ressorts antagonistes, deux bascules TP, T′P′ articulées en L et L′, et dont l'extrémité libre porte des crayons convenablement disposés, des plumes ou des tire-lignes à réservoir d'encre; ces crayons ou styles appuient sur un cylindre G, dont l'axe muni d'une vis sans fin est susceptible d'avancer longitudinalement, en même temps que s'ac

complit son mouvement de rotation. C'est sur ce cylindre que se trouve appliquée la feuille de papier destinée à recevoir les signaux écrits. Le mouvement de ce cylindre est commandé par un mécanisme d'horlogerie spécial qui est relié aux autres mécanismes par un système de détente que nous avons représenté fig. 11. Ce système consiste dans un levier à crochet A B oscillant en A, et portant une crémaillère F dont les dents engrènent avec une roue Y, fixée sur le premier mobile du mécanisme conduisant la feuille de papier. Cette crémaillère articulée en B, est repoussée contre la roue Y par un ressort antagoniste *z*, mais elle peut être reculée en sens opposé par l'intermédiaire d'un levier coudé M O N, dont le bras N vient buter contre une des chevilles de l'une des roues d'échappement R. C'est le levier A B qui constitue la détente proprement dite, car il arrête par son crochet B le volant X du mécanisme conducteur du papier, et c'est le levier M O N qui en provoque l'action. Voyons maintenant comment fonctionne cet appareil. Au moment où le courant sera fermé dans le sens voulu à la station qui transmet, l'une des deux roues d'échappement sera dégagée, et la bascule porte-style correspondante sera déviée de côté. Le crayon ou la plume dont elle est munie laissera donc une trace sur le cylindre G dans le sens de la génératrice de celui-ci. En même temps le levier M O N qui sera alors abaissé par la roue d'échappement, écartera la crémaillère F de la roue Y, et cette crémaillère par son propre poids et celui du levier A B, tombera en glissant contre la branche M du levier M O N. Le crochet B dégagera donc le mouvement du cylindre enregistreur; celui-ci en tournant recevra l'empreinte des deux styles, et cette empreinte sera perpendiculaire aux traces laissées par ces mêmes styles, sous l'influence électrique, absolument comme dans le système de M. Froment, que nous avons étudié précédemment. Tant que les styles fonctionneront

et décriront les jambages plus ou moins multipliés dont la combinaison représente les signaux transmis, le mouvement du cylindre continuera, parce qu'à chaque mouvement des crayons, la crémaillère F se trouve désengrenée. Mais quand les styles s'arrêteront, il arrivera que quelques secondes après, la crémaillère étant totalement remontée par la roue Y, le crochet B arrêtera le volant X, et par suite le cylindre. On voit que de cette manière, le déclanchement de l'appareil récepteur s'effectue sous l'influence seule de la station qui parle, et au moment seul de la transmission des signaux.

La fig. 12 représente l'alphabet combiné par M. Régnard.

La clef, ou manipulateur du télégraphe écrivant de M. Régnard, est un simple commutateur à renversement de pôles, que l'auteur a combiné de la manière suivante.

Deux équerres métalliques M et N fig. 13, sont fixées sur une planche de bois; l'une communique au fil de la ligne, l'autre au fil de terre. Deux pièces métalliques A B, C D, isolées l'une de l'autre par un manchon d'ivoire oscillent sur un axe horizontal; l'une communique avec le pôle positif de la pile, l'autre avec le pôle négatif. La pièce inférieure se termine par deux lames flexibles, afin d'assurer le double contact qui doit s'opérer, lorsqu'on appuie sur l'une ou sur l'autre extrémité de la pièce A B. Deux autres lames de ressort x, y isolées l'une de l'autre, et des pièces A B, C D appuient l'une sur la pièce M et l'autre sur la pièce N, et sont en rapport avec le récepteur de la station à laquelle appartient le commutateur.

Par l'intermédiaire d'une lame de ressort E F fixée sur le manchon d'ivoire, les bascules A B et C D sont toujours ramenées après que l'on a appuyé en A ou en B à la position horizontale; quand on appuie en A, le courant entre dans la ligne par l'équerre M, et rentre à la pile par

l'équerre N et le ressort D; mais en même temps le circuit est interrompu à travers l'appareil récepteur de la station qui parle par suite de l'abaissement des ressorts x et y par les dents G et H. Quand au contraire, c'est la branche B de la bascule qui est abaissée, le courant entre dans le circuit de la ligne par l'équerre N, et revient à la pile par l'équerre M.

Ainsi il suffit d'appuyer sur l'une ou l'autre des deux branches de la bascule AB, pour transmettre au récepteur de la station d'arrivée les courants électriques combinés pour la formation des signaux.

M. Régnard a combiné d'autres systèmes de transmetteurs mécaniques, soit à clavier, soit à cases pour que chaque signal puisse être transmis avec le nombre d'interruptions et les inversions de courant qui lui conviennent sous la seule influence de l'abaissement d'une touche; mais ces systèmes ne présentent guère d'avantages, comme l'auteur le reconnaît lui-même [1]. Le seul interrupteur de ce genre qui pourrait être pratiqué, serait celui qui dans le système à inversions de courant, correspondrait au commutateur à signaux composés de Morse. Dans ce cas, ce commutateur serait double, c'est-à-dire qu'il y aurait pour chaque signe, deux rangées de plaques, l'une qui enverrait le courant dans un sens à travers le frotteur, l'autre qui l'enverrait dans le sens opposé; du reste, tous les systèmes que nous avons étudiés relativement aux transmetteurs Morse, pourraient être adaptés aux télégraphes écrivants à deux styles.

Télégraphe contrôleur de M. Tremeschini. — « Ce télégraphe, dit M. Govi, est extrêmement simple et d'un maniement très-facile; il donne à volonté soit des signaux fugitifs sur un cadran alphabétique à aiguilles (système

1. Voir la Notice de M. Régnard, éditée à Paris chez M. Auguste Durand en 1853.

Wheatstone), soit des impressions permanentes à sec sur une bande de papier qui se déroule (système Morse), soit les deux genres de signaux en même temps. L'accouplement des deux espèces d'indications, fugitives et permanentes, permet de contrôler la lecture faite par les employés sur le cadran alphabétique. Le contrôleur Tresmeschini offre en outre l'avantage d'indiquer à la lecture des dépêches, les fautes qui pourraient s'y être glissées, et cela, à l'aide de points de repère que l'instrument marque spontanément de treize en treize signaux transmis.

« La force électrique nécessaire pour mettre en mouvement le nouvel appareil ne dépasse pas celle qu'exige le télégraphe à cadran ordinaire ; on échappe ainsi à la nécessité des relais ou des piles locales exigés par le système Morse.

« L'alphabet employé par M. Tremeschini est beaucoup plus facile à apprendre et à lire que l'alphabet de Morse, et les signes qui le représentent se marquent d'une manière beaucoup plus distincte que dans les appareils de ce dernier physicien.

« Enfin, le prix de revient d'un contrôleur Tremeschini n'atteint pas le tiers du prix d'un appareil de Wheatstone; ses dimensions, en outre, peuvent être aisément réduites de façon à le rendre aussi petit et aussi sensible que l'on veut; il est susceptible par conséquent d'être transporté et de servir aux besoins des armées en marche, des astronomes et des ingénieurs en campagne.

« Les appareils actuels de Morse, et à cadran, peuvent être transformés en télégraphes du nouveau système avec une faible dépense.

« Nous apprenons que M. Breguet a acheté l'appareil de M. Tremeschini, et compte l'employer sur les nouvelles lignes des compagnies du chemin de fer qu'il est appelé à organiser. »

TÉLÉGRAPHES ÉLECTRO-CHIMIQUES.

Ainsi que nous l'avons vu page 6 du présent volume, la première idée des télégraphes électro-chimiques appartient à M. Coxe qui, dès l'année 1810, avait songé à utiliser à la transmission des signaux télégraphiques les effets de la décomposition de l'eau par le courant. Une année plus tard, en 1811, M. Sœmmering conçut la même idée, mais il fit plus que M. Coxe; il construisit à Munich un modèle de ce système télégraphique qui put fonctionner d'une manière satisfaisante. L'appareil se composait de deux châssis de bois montés sur pieds et correspondant l'un au récepteur, l'autre au transmetteur. Ce dernier portait sur une traverse horizontale de bois une série de trous garnis de petits tubes de cuivre qui étaient chacun en rapport avec un fil particulier et en nombre égal aux lettres de l'alphabet ou aux signaux composant le vocabulaire télégraphique.

Deux chevilles métalliques, communiquant aux deux pôles de la pile par des fils extensibles, pouvaient être introduites alternativement dans ces différents trous, et pouvaient ainsi compléter, avec les fils correspondant à ces trous, un circuit à travers l'appareil récepteur. Celui-ci se composait uniquement d'une longue auge de verre remplie d'eau acidulée, et au fond de laquelle étaient rangées, les unes à côté des autres, une série de pointes d'or mises en rapport avec les différents fils de l'appareil transmetteur. Lorsqu'on voulait parler, il suffisait, à la station où était le recepteur, d'implanter l'une des chevilles polaires (celle correspondant au pôle négatif) dans le trou correspondant à la lettre qu'on avait à signaler, et de placer l'autre dans un trou voisin afin de diminuer la résistance apportée à la transmission du courant. Sous l'influence du courant ainsi fermé à travers cette espèce de voltamètre, l'eau se trouvait décomposée : des bulles de gaz hydrogène se dégageaient à la pointe négative,

et de petites bulles de gaz oxygène se montraient à la pointe positive. Toutefois, comme le dégagement de ces gaz est bien différent, il était facile de distinguer celle de ces pointes qui correspondait à la lettre signalée.

L'alarme de ce télégraphe était réellement très-ingénieux pour l'époque; il consistait dans une sonnerie à détente mise en tintement par la chute d'un poids tombant sous l'influence électro-chimique. A cet effet, une petite bascule à bras coudé, oscillant très-librement sur sa partie moyenne, était disposée verticalement à l'intérieur du voltamètre récepteur, de manière que l'un des bras, terminé par une espèce de cuiller et plus lourd que l'autre, fût placé au-dessus de deux des pointes d'or. Ce bras était maintenu horizontalement en équilibre par un contre-poids qu'on faisait courir sur le second bras (le bras extérieur de la bascule), jusqu'à ce que l'équilibre ait eu lieu. Devant ce dernier bras se trouvait un entonnoir placé immédiatement au-dessus de la détente de la sonnerie. Lorsqu'à la station qui devait transmettre on faisait passer le courant à travers les pointes du voltamètre récepteur placées sous la cuiller, celle-ci se trouvait soulevée et le bras supérieur de la bascule étant considérablement incliné, laissait glisser le contre-poids qui tombait dans l'entonnoir, et, par suite, sur la détente de la sonnerie; celle-ci se trouvait alors dégagée.

Après Sœmmering, Edward Davy chercha à utiliser les réactions chimiques des courants, non plus pour la simple désignation des signaux télégraphiques, mais pour leur impression sur une feuille de papier ou d'étoffe préparée à cet effet.

Ce système télégraphique, imaginé comme je l'ai dit, page 18, en 1839, exigeait 3 fils à la ligne et comportait trois sortes d'appareils :

1° Un récepteur électro-chimique composé de deux cylindres, placés l'un contre l'autre, dont l'un, métallique, était commandé par un mouvement d'horlogerie et un

électro-aimant, et dont l'autre, construit en matière isolante, portait 6 anneaux de platine en rapport avec 6 ressorts. Le mouvement communiqué au premier faisait tourner le second par suite de leur adhérence réciproque. Pour plus de clarté, nous désignerons le dernier de ces deux cylindres sous le nom de *cylindre traçant*, et le premier sous le nom de *cylindre enregistreur*;

2° Un système de relais composé de 6 multiplicateurs à barreaux aimantés;

3° Un système de manipulateur composé de 6 clefs formant commutateurs à renversement de pôles.

La substance chimique impressionnelle à l'action du courant électrique était une dissolution d'hydriodate de potasse et de muriate de chaux dont on imprégnait un tissu très-mince, comme du calicot par exemple. Ce tissu était fixé sur le cylindre enregistreur du récepteur au moyen de deux anneaux mobiles, et lorsque le courant le traversait en passant par l'un ou l'autre des 6 anneaux de platine du cylindre traçant de ce même récepteur, une trace suffisamment visible était marquée à sa surface.

D'après cette disposition du système, on peut facilement en comprendre le jeu et les fonctions.

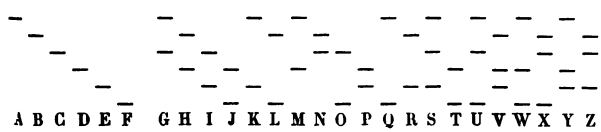
Quant à la station d'où l'on parlait, on touchait l'une des clefs du manipulateur, la clef n° 2, je suppose, le courant était dirigé à travers le fil n° 1, de manière à faire dévier le barreau aimanté du multiplicateur relais n° 2 dans le sens nécessaire pour établir un contact avec le ressort-relais placé à portée : ce contact avait pour effet de diriger le courant de la pile locale sur l'anneau n° 2 du cylindre traçant du récepteur en même temps que sur l'électro-aimant commandant le mouvement du cylindre enregistreur. Celui-ci avançait donc d'un demi-échappement en même temps qu'une trace était marquée sur le tissu préparé. Après l'interruption du courant, le cylindre enregistreur tournait de

nouveau sous l'influence de l'inertie de l'électro-aimant et complétait ainsi son échappement. Or, la position de cette trace sur le cylindre pouvait entrer comme élément de combinaison dans la désignation des signaux transmis, comme nous le verrons à l'instant.

Quand une autre touche était abaissée, supposons la touche n° 1, le courant était dirigé à travers le même fil n° 1, que celui correspondant à la touche n° 2; mais, étant renversé par la touche même, ce n'était plus le multiplicateur-relais n° 2 qui devenait actif, mais bien le multiplicateur-relais n° 1, interposé d'ailleurs dans le même circuit. Sous l'influence de ce relais, le courant local se trouvait transporté à travers l'anneau n° 1 du cylindre traçant, imprimait une nouvelle marque sur le tissu préparé, à côté et au-dessous de celle qui avait été déjà marquée, et le cylindre enregistreur, se trouvait de nouveau avancé d'un pas.

On comprend maintenant qu'en employant une pile différente pour chaque fil, on pouvait imprimer à la fois plusieurs signes différents. Or, la combinaison simultanée de ces différentes marques pouvait donner lieu à de nouveaux signes et compléter le vocabulaire télégraphique.

Voici, du reste, les signaux adoptés par M. Davy pour représenter les différentes lettres de l'alphabet[1].



Télégraphe électro-chimique de M. Bain. — Si le télégraphe précédent renferme le principe des télégraphes électro-chimiques qui, dans ces derniers temps, ont fourni des résultats si remarquables, on ne peut se dissimuler

1. Voir pour les détails l'ouvrage de M. Vaïl sur le Télégraphe électro-magnétique américain.

qu'il était d'une telle complication, d'une telle délicatesse de manœuvre qu'il n'était guère susceptible d'être appliqué. D'ailleurs, le composé chimique adopté par M. Davy n'avait pas toute la sensibilité désirable pour les transmissions promptes. M. Bain en passant en revue et en expérimentant les différents composés chimiques dont la décomposition par le courant pouvait fournir un nouveau composé fortement coloré, trouva, comme nous l'avons dit, page 236, 1er vol., que c'était le cyanure de potassium qui possédait cette propriété au suprême degré, et, dès lors, il se mit à l'œuvre pour exécuter un télégraphe électro-chimique, basé sur ce principe qui fût réellement pratique. Il y arriva assez promptement, car, dès l'année 1851, à l'Exposition universelle de Londres, tout le monde était dans l'extase des merveilleux effets de ce télégraphe qui imprimait jusqu'à 1500 signaux par minute. Cette découverte était immense, non-seulement par son application dans la télégraphie, mais encore dans une foule d'autres applications électriques qu'elle a permis de réaliser. Nous pourrons en juger par la suite.

Le télégraphe électro-chimique de M. Bain est combiné à peu près de la même manière que les télégraphes écrivant que nous avons étudiés précédemment seulement pour éviter l'emploi d'une bande continue de papier qu'on se procure encore aujourd'hui assez difficilement et qui, d'ailleurs, présentait des difficultés pour sa préparation. M. Bain a cherché à faire décrire au style traçant une spirale très-serrée sur une feuille de papier ordinaire.

A cet effet, cette feuille de papier se trouve fixée sur un plateau métallique horizontal mis en mouvement très-rapide de rotation sur lui-même par un fort mécanisme d'horlogerie, et ce mécanisme se trouve relié au style, ou, du moins, au porte-style par une vis sans fin dont l'engrène—

ment est calculé de manière à faire reculer d'un pas celui-ci pour chaque tour complet accompli par le plateau tournant. Il résulte, comme on le comprend, de ce double mouvement une volute très-nettement déterminée sur l'étendue de laquelle les signaux peuvent aisément être tracés les uns à la suite des autres. Telle est d'ailleurs toute la disposition de l'appareil récepteur de ce genre de télégraphe.

L'appareil transmetteur est au moins aussi simple et se rapproche considérablement de celui que M. Froment a appliqué à son télégraphe écrivant. Comme dans ce système télégraphique, en effet, la dépêche est traduite d'avance par des combinaisons de trous longs et ronds découpés sur une bande de papier. Cette bande est enroulée sur une poulie où elle est en provision et se trouve tirée quand l'appareil marche, par deux cylindres métalliques entre lesquels elle est forcée de passer. L'un de ces cylindres est en relation avec l'une des branches du circuit, et peut fermer le courant par l'intermédiaire d'un petit ressort en pointe qui appuie sur sa circonférence. Comme la bande de papier passe entre ce petit ressort et le cylindre, la continuité du courant ne peut avoir lieu dans tous les moments, et les fermetures ne se font que quand le ressort s'engage dans les trous de la bande.

D'après la disposition des deux appareils, on comprend aisément que si le plateau de l'appareil récepteur est recouvert d'une feuille de papier préparée au cyanure de potassium et en rapport avec le pôle négatif de la pile, tandis que la pointe d'acier sera en rapport avec la branche positive, chacune des combinaisons de trous de la bande de papier de l'appareil transmetteur sera reproduite en traits bleus sur la feuille de l'appareil récepteur ; et comme cette impression, qui ne nécessite pas une action mécanique, est instantanée, la transmission des signaux peut se faire aussi vite que l'on veut : elle ne dépend que de la vitesse de déroulement de

la bande sur l'appareil transmetteur; déroulement qui s'opère sous l'influence du mouvement d'horlogerie lui-même, car chaque appareil est double et porte à la fois l'appareil transmetteur et l'appareil récepteur.

Il ne faut pourtant pas se faire trop d'illusions sur les avantages de ce système télégraphique, car, disposé tel que nous venons de l'indiquer, il ne peut être appliqué que quand les distances de transmission sont extrêmement petites. Il faut, en effet, pour obtenir les traces électro-chimiques dues à la décomposition du cyanure de potassium une certaine énergie électrique; or, cette énergie n'existe pas dans les longs circuits. Il faut donc dans ce cas avoir recours au relais, et alors la vitesse d'impression, réellement merveilleuse, dont nous avons parlé, se trouve subordonnée à l'action du relais. C'est sans doute cette raison, jointe à la difficulté d'entretenir le papier suffisamment humide pour conduire le courant, qui a fait que cette invention, accueillie d'abord avec une faveur sans égale, s'est trouvée abandonnée jusqu'à ce que l'on ait imaginé le papier chimique hygrométrique dont nous avons parlé [1].

1. La figure 16, pl. II, représente une élévation de l'appareil de M. Bain. H est le plateau métallique tournant; il est mis en mouvement par le mécanisme d'horlogerie placé à droite de l'appareil. E est l'arbre du moteur qui transmet le mouvement à ce plateau. K est la vis sans fin qui fait avancer la vis traçante *m* portée par un écrou mobile *n*. Cette vis reçoit son mouvement du plateau tournant lui-même par l'intermédiaire du rouleau *r* qui termine la vis sans fin. P est la boule d'un fort pendule destiné à rendre uniforme le mouvement communiqué au plateau, et par suite au style. A cet effet, ce pendule est maintenu par son extrémité inférieure dans une entaille pratiquée sur un volant (analogue à celui d'un tourne-broche) mis en mouvement par le moteur. Un levier, commandant le serrage d'un frein d'embrayage, se trouve introduit dans l'entaille, de manière à être rencontré par la pointe du pendule, lorsque celui-ci, étant entraîné par le volant, entre en mouvement de rotation autour de la verticale. Quand la vitesse du moteur est trop considérable, le pendule, en raison de la force centrifuge, appuie davan—

Dernièrement on a appliqué le principe du télégraphe électro-chimique précédent au télégraphe Morse ordinaire, afin de rendre plus visibles les traces laissées par le style. Mais malgré tout mon bon vouloir il m'est impossible de reconnaître dans cette modification une invention nouvelle, comme certaines personnes voudraient la faire passer. En effet, le télégraphe de M. Bain n'est autre chose qu'un télégraphe Morse, dans lequel les signaux, au lieu d'être tracés sur une bande de papier, sont écrits, comme je le disais, en spirale, sur une feuille de ce même papier. D'ailleurs, j'avais proposé, il y a longtemps (voir la première édition de cet ouvrage, page 154), un système de chronographe électro-chimique, dans lequel les signaux étaient exactement reçus de la même manière que dans le télégraphe Morse [1].

tage contre le levier d'embrayage et celui-ci, en serrant les rouages du moteur, ralentit son mouvement. Quand ce mouvement est trop peu accéléré, le pendule permet au levier d'embrayage de dégager totalement les rouages. Le mécanisme qu'on voit à gauche du mouvement d'horlogerie est un second pendule qui, au moyen d'un échappement T, régularise définitivement la marche du moteur. Ce système régulateur se rapproche, comme nous le verrons plus tard, du régulateur à pendule conique.

A et B sont les deux roues cylindriques entre lesquelles passe la bande de papier, percée de trous, qui sert d'organe transmetteur; c'est sur la roue B qu'appuie le ressort interrupteur. Enfin C est le rouleau sur lequel se trouve emmagasinée la bande de papier.

Dans ce système télégraphique le déclanchement de l'appareil se fait à la main, après qu'une sonnerie d'appel a donné l'éveil à l'employé.

1. Nous représentons du reste, fig. 17, pl. II, le modèle de ce système télégraphique que M. Mouilleron a construit avec beaucoup de goût pour l'administration des télégraphes français.

A représente la boîte d'acajou dans laquelle est renfermé le rouleau sur lequel la bande de papier chimique est en provision. Nous avons vu, page 238 (1er vol.), que cette précaution était indispensable pour que le papier pût rester toujours humide. B est un galvanomètre à orient fixe qui indique l'intensité du courant de la pile locale. C est le cylindre métallique sur lequel appuie la lame d'acier R, et qui réagit conjointement avec cette lame pour fournir l'impression chimique sur la bande

Télégraphe chimique de M. Gloesener. — « J'ai construit, dit M. Gloesener, un télégraphe que j'appelle télégraphe chimique, parce que le courant agit simplement comme force motrice, en amenant des gouttes d'acide sulfurique en contact avec du papier trempé dans une dissolution de teinture de tournesol. Il se forme alors des points ou des traits rouges, lorsque ce papier est mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie.

« Cherchant à écrire les dépêches avec de l'encre, sans pile locale, j'ai essayé, secondé par mon préparateur M. Tessington, diverses espèces d'encres et de plumes. Nous avons pris pour plumes de petits tubes capillaires en verre, de petits cônes pointus en coke, en terre poreuse, en pierre ponce. Nous avons pris pour encre de l'eau colorée. Puis d'essai en essai, nous avons fini par employer de l'acide sulfurique concentré; comme papier, du papier ordinaire trempé dans une dissolution de tournesol, et desséché en-

de papier qui passe entre deux. D est un second cylindre d'ivoire qui forme laminoir avec le cylindre C pour entraîner la bande de papier. Il peut être écarté de ce cylindre par le manche N sur lequel il pivote. E est un fort ressort qui, à l'état normal, serre fortement le cylindre D contre le cylindre C. G est un bouton d'attache au moyen duquel on peut fixer la lame R sur son support. H est un bouton destiné à incliner plus ou moins le ressort R sur le cylindre C. I est un guide d'ivoire pour conduire la bande de papier. J est le carré pour remonter le mouvement d'horlogerie qui fait mouvoir les cylindres C et D. K est le relais, qui est disposé de manière à servir en même temps de translateur. A cet effet, son armature *k c*, que l'on voit de champ, porte deux leviers métalliques *a*, *b* d'inégale longueur, et oscillant entre deux systèmes de doubles vis de rappel *d*, *e*, *f*, *g*. L'un de ces leviers *b* est isolé de l'armature. Ils se terminent d'ailleurs tous les deux latéralement par deux petites lames de ressort, dont l'une est toujours en contact avec la vis qui lui correspond, que l'armature soit on non attirée. Il résulte de cette disposition que le courant de la pile locale et celui de la pile de ligne, transmis directement aux deux vis qui sont en contact constant avec les deux leviers *a* et *b*, peuvent se trouver complétés à travers le récepteur électro-chimique et le relais de la station éloignée à chaque réaction du relais K.

suite; enfin pour plume, un fil de platine fixé par l'un de ses bouts à la palette de l'électro-aimant moteur, et portant à l'autre bout un petit cône de pierre ponce imprégné d'acide sulfurique.

« Nous avons disposé la plume pour écrire à double effet en employant deux électro-aimants à travers lesquels le courant était alternativement renversé. Nos expériences ont été des plus satisfaisantes. L'action de la plume sur le papier est instantanée; les traits et les points rouges sont très-distincts; enfin le mouvement de la pointe est extrêmement facile à produire. La transmission des signaux se fait au moyen d'une clef disposée pour écrire à double effet. Ce télégraphe est sensiblement plus prompt que les autres télégraphes à double effet de même espèce, et leur doit être préféré de beaucoup. La plume est inaltérable, aucune saleté ne s'y dépose, aucune tache nuisible à la lecture des lignes ne peut se faire sur le papier, et celle-ci est des plus faciles. »

Télégraphe électro-chimique de M. Varley. — Nous avons déjà eu occasion de parler, dans le chapitre IV, page 110, du ralentissement de la transmission électrique dans un fil recouvert de gutta-percha et immergé; de nouvelles expériences faites par M. Varley prouvent que ce ralentissement pouvant occasionner un certain trouble dans la marche des appareils télégraphiques, il est indispensable d'organiser sur les lignes télégraphiques placées dans ces conditions, un système qui puisse les mettre à l'abri de cette cause de dérangement. Voici, d'après le *Cosmos*, le résumé de ce que ce physicien a dit à ce sujet lors de la dernière réunion de l'association britannique pour l'avancement des sciences.

« Les expériences de M. Varley, dit le *Cosmos*, prouvent que le courant électrique n'arrive pas instantanément à l'extrémité du fil conducteur, mais que, le fil étant chargé par induction comme le serait une bouteille de Leyde, le courant se

propage et augmente graduellement d'intensité. Il n'atteint son pouvoir maximum, à l'extrémité d'un conducteur de 1,500 milles, qu'après 7 secondes de temps écoulées, et il continue à circuler 7 secondes après que son contact avec la pile a cessé. Dans les systèmes actuels de télégraphie, avec un semblable fil, il faudrait 50 secondes pour produire un signal, et comme il faut plusieurs signaux pour former une lettre, un mot exigerait, pour être transmis, un temps moyen de 3 minutes. M. Varley montre qu'avec des conducteurs sous-marins ou souterrains, entre la Hollande, Londres, Liverpool et autres lieux, les appareils de Bain et de Morse ne pourraient opérer qu'avec une vitesse beaucoup trop petite pour les besoins du commerce, mais qu'avec l'aide d'un appareil imaginé par lui, ces fils depuis six mois suffisent à une transmission plus que suffisante, celle de 25 mots par minute; ce qui suppose 300 inversions du courant par minute. Lorsque les deux premiers télégraphes, ceux de Bain et de Morse, veulent opérer rapidement avec ces fils, les marques se confondent, parce que l'impression électrique qui doit produire une de ces marques n'a pas encore cessé quand la seconde impulsion est donnée. Avec l'appareil Varley, au contraire, en déversant la charge et renversant le courant à chaque mouvement de clef, on fait naître très-rapidement dans le fil des courants alternés qui, quoique très-faibles à l'extrémité du fil, sont cependant suffisants pour agir sur le galvanomètre qui fait fonction de relais; ce relais met en action une pile locale, laquelle à son tour produit les marques télégraphiques. Le petit bras de l'axe du relais, au lieu de frapper contre un arrêt fixe, frotte obliquement contre un ressort en or, déplaçant la légère couche d'air qui, par son interposition, empêcherait la fermeture du circuit local. Dans cette disposition, la pesanteur vient aussi aider l'établissement du contact. Cet appareil est si sensible que 4 éléments d'une

pile de Daniell, cuivre et zinc, ont suffi à transmettre des dépêches de Manchester à Londres. Les avantages de ce mode de télégraphie chimique sur le télégraphe à aiguille sont : de n'exiger qu'un seul fil, de donner une copie imprimée de toutes les dépêches, de pouvoir fonctionner avec une force quatre fois plus faible, enfin de ne pas être interrompu par un défaut dans l'isolement des fils. Ces avantages sont obtenus : 1° en déchargeant le fil conducteur à chaque mouvement de la clef; 2° en faisant que la pesanteur aide l'électricité pour établir le contact, et utilisant ainsi la somme des deux forces au lieu de leur différence; 3° en faisant glisser le contact du relais, de manière à déplacer la mince couche d'air, ce qui permet de fermer le circuit avec une très-petite portion du pouvoir de la pile. Cet appareil fonctionnerait, lors même qu'il y aurait écoulement d'électricité entre deux fils, et cette propriété fait que le nouveau télégraphe est parfaitement approprié au cas où les conducteurs sont suspendus dans l'air, et où le courant se perd d'un fil à l'autre, dans les temps humides, lorsque les poteaux mouillés n'isolent qu'imparfaitement. »

Il paraîtrait, d'après le *Cosmos*, que ce télégraphe aurait fourni des résultats surprenants. Ainsi à travers un circuit de 428 kilomètres composé : 1° de 200 kilomètres de câble sous-marin; 2° de 40 kilomètres de fil souterrain; 3° de 185 kilomètres de fil aérien, M. Varley aurait transmis et imprimé, de Londres à Amsterdam, le discours de la reine d'Angleterre, comprenant 701 mots, en 20 minutes et demie de temps. C'est la plus grande vitesse qu'on ait obtenue avec un télégraphe écrivant, même quand le circuit n'est composé que de fils aériens. Dans cette transmission deux mots seulement ont dû être corrigés après la transmission achevée. Le temps des échanges de signaux que ces corrections ont exigé a été compris dans les vingt minutes et demie. Ils n'ont pas contribué à diminuer la vitesse de transmission.

Il paraît aussi que le système de M. Varley peut s'adapter à la fois aux télégraphes à aiguilles, aux télégraphes Morse et aux télégraphes électro-chimiques. Voici ce qui dit à cet égard M. Varley dans une lettre adressée au *Cosmos*, le 8 février dernier : « Ce qu'il y a de remarquable dans cette « correspondance directe entre Londres, Hambourg, Ber- « lin, Dantzig et Memel, c'est qu'à Londres les dépêches « sont *reçues et transmises*, par mon système à double cou- « rant, par mon télégraphe à aiguilles et à impression chi- « que, tandis qu'à Hambourg, Berlin, Dantzig et Memel, « les dépêches sont transmises et reçues par le télégraphe « à simple courant de Morse. »

Il serait réellement bien à désirer que M. Varley expliquât d'une manière claire et détaillée son système; car bien qu'il ait figuré à l'Exposition de 1855, il m'a été impossible d'obtenir les renseignements nécessaires pour le décrire avec détail.

On a fait encore usage de papier enduit d'iodure de potassium et d'amidon. On n'emploie alors pour tige positive qu'une tige en platine. La réaction qui donne la couleur nécessaire pour tracer la dépêche, provient de ce que l'iodure étant décomposé par le courant, l'iode agit sur l'amidon et donne une teinte bleue bien connue. Mais quoique ce système électro-chimique soit très-sensible, le système de M. Bain est supérieur.

Télégraphe autographique de M. Backwell.—Jusqu'à présent, nous avons vu le télégraphe indiquer, écrire, et même imprimer des lettres ou des signaux de convention sous une influence toujours la même et avec des formes invariables pour chaque désignation. Avec le télégraphe autographique de M. Backwell, cette forme fixe des signaux n'est plus indispensable; une ligne quelconque, un contour, un dessin, l'écriture même de telle ou telle personne, peuvent être minutieusement reproduits, et cela avec une vitesse très-

considérable qu'on dit être de 400 lettres par minute. N'est-ce pas à confondre l'imagination? Pourtant, le fait existe, et pour le rendre croyable, je vais essayer de donner une idée des mécanismes qui peuvent produire un si curieux résultat. J'ignore si ces mécanismes sont exactement ceux du télégraphe de M. Backwell, car aucune description n'en a été publiée, et je n'ai pu voir à l'Exposition de Londres qu'un simple échantillon de correspondance ainsi autographiée. Quoi qu'il en soit, cet échantillon m'a suffi pour comprendre la manière dont il avait dû être produit. Voici comment je décrivais ce télégraphe dans le premier volume de ma première édition, publiée en 1853 :

Un mouvement de va-et-vient d'une pointe métallique mobile peut être facilement obtenu de la part d'un appareil d'horlogerie, et ce mouvement, imprimé à la pointe peut, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, être combiné avec un mouvement de translation dans un sens qui lui soit perpendiculaire. Si cette pointe était un crayon, elle dessinerait des hachures plus ou moins serrées, suivant le pas de la vis, et la surface qu'elle devrait couvrir serait d'autant plus vite remplie que le mécanisme d'horlogerie tournerait plus vite aussi. Supposez donc à chaque station un mécanisme ainsi établi, et admettez qu'au-dessous des pointes métalliques soient placées, d'un côté à la station A, une feuille de papier préparée au cyanure de potassium, comme nous l'avons indiqué précédemment, et appliquée sur une plaque métallique en rapport avec la branche négative du courant; d'un autre côté à la station B, la dépêche qu'on aura eu soin d'écrire sur du papier métallique, du papier d'étain, je suppose ; il arrivera que si le courant passe de la pile à la feuille d'étain, et qu'un fil unisse métalliquement d'une station à l'autre, les deux pointes qui seront animées d'un mouvement synchronique par l'effet d'un déclanchement simultané de leur mécanisme d'horlogerie, il arrivera,

dis-je, que ce courant ne sera interrompu, à la station qui transmet, que quand le style de la station B passera sur le corps même de l'écriture. Le style de la station A qui reçoit dessinera donc constamment des hachures bleues (par suite de la décomposition du cyanure) qui ne seront interrompues qu'aux différents points où le style transmetteur aura rencontré l'écriture. Or, comme le mouvement des deux styles est synchronique, la série d'interruptions produites par l'écriture sur la feuille d'étain composera, au milieu des hachures bleues de la feuille recouverte de cyanure, une série de points blancs qui reproduiront en blanc l'écriture même de la dépêche[1].

Dernièrement, *le Courrier de Gênes* faisait retentir tous les échos de la publicité d'une merveilleuse découverte faite par l'abbé Giovanni Caselli de Florence, « qui était, disait-il,

1. La figure 18 représente un télégraphe de ce genre que j'ai fait construire pour des expériences de cabinet.

A représente la cage d'un fort mécanisme d'horlogerie dont le mouvement est rendu très-uniforme au moyen du système à pendule conique de M. Bain ; B est le bout du pendule tournant de ce mécanisme; C est la lentille du pendule oscillant; E est une roue d'angle fixée sur le dernier mobile du mécanisme moteur et qui engrène avec une seconde roue F laquelle transforme son mouvement pour le communiquer à l'excentrique G ; G H est une tige articulée en H à l'extrémité d'une bascule H I, et fixée en G sur le cercle glissant sur l'excentrique; H I est la bascule porte-style qui est articulée en O. Le style est adapté en I, et se compose d'une petite pointe émoussée d'acier, glissant dans une douille et surchargée à volonté de poids, comme les pointes des pentographes;

J est une roue fixée sur le 2e mobile du mécanisme moteur et qui, par une chaîne d'horlogerie, transporte le mouvement qui lui est communiqué à une deuxième roue de même diamètre K fixée sur l'axe d'un cylindre métallique M ; ce cylindre appuie contre un deuxième cylindre formant laminoir, qui est placé au-dessous de lui et qu'on ne voit pas (à cause de cela), sur la figure; N O P Q est la bande de papier préparée au cyanure de potassium, qui se trouve en provision sur le cylindre R P; enfin l'électro-aimant T commande le mouvement d'horlogerie en maintenant au moyen d'une détente le pendule oscillant C dans une position fixe écartée de la verticale; il fonctionne sous l'influence d'un relais.

« parvenu à transmettre télégraphiquement des fac-simile « d'écriture et de dessins à la plume. » Nous voudrions bien savoir en quoi ce merveilleux télégraphe, imaginé en juin 1856, diffère de ceux que nous venons de décrire, et qui datent de l'annnée 1850. Du reste, ce n'est pas la première fois que les journaux nous donnent comme des découvertes nouvelles des inventions anciennes connues de tout le monde. Sous ce rapport, les journaux piémontais sont d'une hardiesse vraiment comique : à les entendre, toutes les belles inventions viennent du Piémont; tantôt c'est M. Bonelli qui a découvert les moyens de prévenir les accidents des chemins de fer par l'électricité; tantôt ce sont MM. Botto et Zantedeschi qui ont découvert les télégraphes à double transmission des dépêches; tantôt c'est M. Carrosio « qui, » comme son compatriote Colomb, « a

Comme cet appareil peut être à la fois récepteur et transmetteur, il suffit de substituer à la bande de papier préparée au cyanure de potassium une feuille de papier d'étain collée sur du papier ordinaire pour transformer un appareil dans l'autre.

Le jeu de cet appareil s'effectue ainsi qu'il suit :

Au moment où l'on ferme le courant à travers le circuit de la ligne, à la station qui transmet, les relais des deux stations sont mis en mouvement, et les électro-aimants T, commandant les mécanismes d'horlogerie, dégagent ces mécanismes qui sont réglés de manière à marcher synchroniquement. Les styles I sont alors animés d'un mouvement de va-et-vient par l'effet de l'excentrique G, et leurs trajectoires sur les bandes N O P Q, combinées avec le mouvement de rotation du cylindre M, constituent un zigzag très-serré donnant lieu à des hachures bleues sur l'appareil récepteur. Toutes les solutions de continuité produites à travers le circuit qui traverse les deux appareils par le passage de la pointe I du transmetteur sur le corps de l'écriture tracée sur la feuille d'étain, sont donc représentées par un point blanc au milieu des hachures de l'appareil récepteur.

En prenant une encre conductrice, et en remplaçant la feuille d'étain par du papier ordinaire, le contraire aura lieu et le corps de l'écriture sera formé par la juxtaposition d'une foule de points bleus les uns à côté des autres, mais la difficulté de transmission électrique serait alors plus grande.

« découvert le véritable moyen de rapprocher l'Europe de « l'Amérique » ; maintenant c'est M. Caselli qui *découvre* les télégrapes autographiques..... Enfin tout le monde invente, selon les journaux; mais il n'y a d'omis, dans leur narration que le nom des véritables inventeurs.

Du reste, M. Caselli n'est pas le seul à avoir marché sur les brisées de M. Backwell; nous voyons dans les comptes rendus de l'Académie des Sciences qu'un M. Seugraff a présenté, le 26 février 1855, un mémoire sur un système de reproduction autographique des signatures dans les communications télégraphiques. Mais les comptes rendus, fidèles à leur habitude de ne jamais parler des applications des sciences, n'ont pas donné un mot d'explication sur ce système; de sorte que nous ne pouvons dire s'il était ou non un perfectionnement de celui que j'ai décrit.

Télégraphe autographique de M. Hipp. — M. Hipp a cherché à résoudre le problème de l'écriture des dépêches en lettres ordinaires par le procédé électro-chimique de M. Bain. Mais son système, quoique ingénieux, est loin de valoir celui que nous avons décrit précédemment.

La partie active de ce télégraphe est un mouvement d'horlogerie qui a pour effet de faire parcourir à une tige métallique un chemin sinueux ayant la forme de la fig. 17, pl. III: chaque station a un mécanisme semblable et tous ces mécanismes sont soumis sous l'influence du courant à un mouvement synchronique. Les appareils des deux stations sont disposés de manière que les tiges mobiles soient constamment appuyées, l'une sur une bande de papier recouverte de cyanure de potassium qu'entraîne, d'un mouvement uniforme et saccadé, le mécanisme d'horlogerie, l'autre sur le plateau métallique où se place le papier chimique. Un commutateur en rapport avec ce plateau et le fil de la ligne permet de fermer le courant en temps opportun.

Si l'on examine que les sinuosités parcourues par les pointes peuvent, suivant que l'on considère telle ou telle partie de leur contour, représenter les différentes lettres de l'alphabet, on comprendra qu'il suffira d'appuyer le doigt sur le commutateur de la station qui parle, précisément au moment où elle commencera à décrire la sinuosité qui représente la lettre à transmettre, pour qu'en ce moment même le courant soit fermé et fasse marquer cette lettre à la pointe de fer agissant sur le papier recouvert de cyanure de potassium.

TÉLÉGRAPHES AUDITIFS.

La désignation des signaux télégraphiques par des sons produits sur des timbres de sonorité différente a été un des premiers moyens d'interprétation des correspondances électro-télégraphiques. Nous avons vu que le télégraphe écossais imaginé en 1753 avait été disposé dans ce but, et celui de M. Steinheil a démontré dès l'année 1837 que ce système télégraphique était parfaitement applicable. En 1845, M. Wheatstone expérimenta un télégraphe auditif analogue à celui de M. Steinheil qui produisit de très-bons résultats. Enfin, la même année, plusieurs télégraphes auditifs à sons combinés furent présentés par MM. Laborde, Dujardin, de Lille, Gillet et Saintard; mais ces télégraphes, quelque ingénieux qu'ils pussent être, n'avaient pas un degré de simplicité suffisant pour qu'on pût les utiliser pratiquement. Ce n'est qu'en 1852 que M. Mirand a résolu complétement ce problème en construisant les sonneries électriques télégraphiques qui purent fournir un télégraphe domestique d'un prix très-peu élevé et d'une interprétation facile.

Système de M. Mirand. — Ce système télégraphique se compose d'un simple rhéotome de de La Rive, analogue à celui que nous avons décrit page 298 (1er volume) et auquel est adaptée la tige du marteau qui doit frapper sur le timbre.

Avec ce système, il arrive que si on ferme et on interrompt brusquement le courant à travers le rhéotome, le marteau peut ne frapper qu'un coup; mais si on prolonge la fermeture du courant, la vibration du marteau se développe et il se produit un roulement qu'il est très-facile de distinguer du coup isolé. En combinant ensemble ces roulements et ces coups isolés on peut composer un alphabet et un vocabulaire télégraphique assez simple, puisqu'avec cinq pressions successives exercées sur la clef ou le transmetteur, on peut obtenir en outre des lettres de l'alphabet et des chiffres, 62 combinaisons différentes auxquelles on peut attribuer tel ou tel sens.

Comme il faut une certaine habitude pour obtenir avec cette sonnerie des coups isolés M. Mirand a ajouté aux sonneries qu'il destine particulièrement aux fonctions télégraphiques un petit appareil supplémentaire qui fait apparaître dans un guichet tantôt le signe — signifiant un roulement, tantôt le signe . signifiant un point isolé. Il devient alors impossible de se méprendre sur la signification du signal envoyé. Cet appareil consiste dans une petite bascule aimantée oscillant entre les branches d'un petit électro-aimant comme dans la figure 41, pl. II, 1er vol., et dont l'une des branches porte une petite bande de carton très-mince sur laquelle sont tracés, l'un à côté de l'autre, les deux signes — et .. Quand le courant traverse cet appareil dans un certain sens, le signe — apparaît dans le guichet ménagé en place convenable sur la boîte de la sonnerie; mais quand le courant est renversé, c'est le signe . qui apparaît.

Le transmetteur de ce système télégraphique est un simple commutateur à renversement des pôles que nous avons décrit page 270, 1er vol. Sur l'une des touches est gravé le signe — et sur l'autre le signe .. Si les liaisons électriques sont convenablement établies, il suffit d'appuyer le doigt sur l'une ou l'autre de ces deux touches et de tenir le cou-

rant plus longtemps fermé sur la touche — que sur la touche, pour que les deux éléments de signaux soient nettement accusés tant par le tintement de la sonnerie que par l'appareil à signaux.

Dans les sonneries ordinaires où il n'existe pas d'appareil à signaux, le commutateur précédent est remplacé par un interrupteur analogue à celui que nous avons décrit page 247, 1er vol. Voir la fig. 16, pl. III.

On a voulu contester à M. Mirand le mérite de son invention en disant que les sonneries de M. Siemens que nous avons étudiées précédemment étaient fondées exactement sur le même principe que la sienne, et que, d'ailleurs, le rhéotome de de la Rive avait été employé depuis longtemps comme réveil pour appeler l'attention; mais nous ferons remarquer qu'il y a loin de ces appareils à la sonnerie électrique télégraphique dont nous parlons. En effet, si l'on a bien suivi la description que nous avons donnée du télégraphe Siemens, on pourra s'assurer que ce constructeur, pour obtenir la course voulue pour le jeu du marteau de sa sonnerie, avait été obligé d'employer un intermédiaire mécanique oscillant auquel il avait donné le nom de *navette*. Ce qui compliquait considérablement cet appareil et le rendait susceptible de nombreux et fréquents dérangements. Dans l'appareil de M. Mirand, au contraire, aucun mécanisme n'est introduit entre le marteau et l'électro-aimant; c'est la vibration de l'armature seule (qui se trouve amplifiée considérablement par l'effet de *l'élasticité de la lame de ressort qui sert d'articulation à cette armature*) qui met en mouvement le marteau. D'un autre côté, le contact du rhéotome au lieu d'être constitué par un butoir rigide est fourni par une lame de ressort flexible qui, en suivant l'armature dans une partie de ses mouvements, remplit les mêmes fonctions que la navette de M. Siemens et contribue encore, par son élasticité, à amplifier les vibrations du marteau. Enfin, l'ab-

sence de vis de rappel dans cet appareil, la simplicité de sa construction et de sa disposition ont permis de le livrer à un prix tellement au-dessous de tous les appareils télégraphiques, qu'il est encore le seul qu'on puisse réellement appeler un télégraphe domestique.

Nous verrons plus tard les nombreuses applications auxquelles ce système de sonnerie peut être utilisé en dehors de celles que nous lui attribuons dans ce chapitre.

Autres systèmes de télégraphes auditifs. — Les combinaisons alphabétiques des télégraphes auditifs qui ont été proposées jusqu'à présent sont basées tantôt sur le tintement de timbres différents, au nombre de deux ou en nombre égal à celui des lettres de l'alphabet, tantôt sur le nombre de coups appliqués sur un même timbre avec intervention, comme élément de combinaison, de la durée des sons produits. Toutes ces combinaisons alphabétiques sont plus ou moins bonnes et la nature des timbres importe peu. Cependant dans les transmissions un peu promptes, il est important en général que les sons ne soient pas prolongés trop longtemps. C'est pour ce motif que M. Regnard a adapté à son télégraphe auditif à deux timbres des étouffoirs à l'aide desquels on peut arrêter à volonté les sons. Ce télégraphe, du reste, est un des plus perfectionnés qu'on ait construits dans ce genre. Pour s'en faire une idée il suffit de supposer dans le télégraphe-écrivant du même auteur dont nous avons fait la description plus haut, les leviers porte-style remplacés par des marteaux, et deux timbres de son différent mis à la place du cylindre enregistreur. Les étouffoirs sont reliés aux tiges des marteaux par des leviers articulés, de sorte que, quand ces marteaux se trouvent mis en action au moment de l'échappement des roues motrices, ces étouffoirs s'écartent un instant des timbres pour y retomber aussitôt après que le coup a été frappé, absolument comme cela a lieu pour les touches d'un piano.

La composition des signaux tintés correspond, dans le système de M. Regnard, à celle des signaux écrits. Il suffit d'envoyer une seule fois le courant électrique pour désigner les quatre lettres A, E, I et S; deux fois pour les huit lettres C, D, L, N, O, R, T, U; et trois fois pour les autres. « Les sons des deux timbres qui diffèrent l'un de l'autre de l'intervalle d'une tierce et leurs sons étouffés constituent, dit M. Regnard, trois sons facilement distincts qui peuvent s'assembler avec une telle rapidité qu'ils n'en formeraient qu'un seul pour une oreille exercée, et qu'on pourrait pour ainsi dire prononcer les lettres dont les mots sont composés à travers l'espace que parcourt le fil conducteur. »

Je ne décrirai pas tous les systèmes de télégraphes auditifs qui ont été proposés, car ils ne varient entre eux que par la disposition des organes moteurs des marteaux, et ces dispositions se rapportent plus ou moins à celles des autres télégraphes dont nous avons parlé précédemment.

TÉLÉGRAPHES IMPRIMEURS.

M. Vaïl, dans son ouvrage intitulé le *Télégraphe électro-magnétique américain*, publié en 1848, prétend avoir eu la première idée des télégraphes imprimeurs. Mais comme aucune publication ni aucun brevet ne peuvent justifier la date de 1837 que cet auteur assigne à son invention, ce sera toujours M. Wheatstone que nous devrons regarder, jusqu'à preuve contraire, comme le véritable inventeur des télégraphes imprimeurs. Avant d'étudier le télégraphe de M. Vaïl et ceux des autres inventeurs qui ont été proposés depuis, je vais essayer d'exposer d'une manière claire et succincte le principe de ces appareils afin qu'on puisse saisir les différences qui existent entre les divers systèmes que nous aurons à décrire.

Les télégraphes imprimeurs qui fournissent la dépêche tout imprimée en lettres romaines ou en caractères quel-

conques, ont été combinés de plusieurs manières; mais ils sont tous assez compliqués en raison même des résultats qu'on exige d'eux. Ils se composent en général de quatre mécanismes différents : 1° d'un mécanisme compositeur au moyen duquel une roue portant les caractères de l'alphabet gravés en relief, présente devant un repère celui de ces caractères qui est désigné; 2° d'un système pour encrer ces caractères; 3° d'un mécanisme imprimeur qui presse la bande de papier, sur laquelle doit être imprimée la dépêche, contre le *type* ou caractère placé devant le repère; 4° d'un gouverneur de la bande de papier propre à la bien diriger et à la faire avancer, après chaque impression de lettre, d'une quantité suffisante pour que les impressions ne se superposent pas. La grande difficulté du problème était d'obtenir le fonctionnement de ces divers organes mécaniques sous l'influence d'un même courant, et c'est principalement par les moyens employés pour vaincre cette difficulté que les différents systèmes qui ont été proposés se distinguent les uns des autres.

Le télégraphe que j'ai fait construire, il y a environ deux ans, et qui est représenté fig. 1, pl. III, peut donner facilement une idée de ces sortes d'instruments. Dans le dessin de cet appareil, le mécanisme compositeur occupe la partie droite de l'instrument. A est la roue des types, c est-à-dire la roue portant les caractères en relief.

M est le mouvement d'horlogerie qui sollicite cette roue.

Enfin E est l'électro-aimant qui commande ce mécanisme par l'intermédiaire d'un échappement à chevilles.

Le système pour encrer les caractères consiste dans un petit rouleau G, revêtu d'une chemise de flanelle sans couture et imprégné d'une encre grasse inséchable. L'encre dont on se sert pour les timbres peut être employée avec avantage à cet usage. Ce rouleau, placé tangentiellement à la roue des types, tourne avec elle, et pour que son adhérence

avec cette roue soit toujours assurée, son axe, au lieu de pivoter dans de simples trous ronds, est porté par des lames de ressorts placées devant des trous allongés. De cette manière le rouleau suit tous les mouvements de la roue des types et recouvre d'encre les caractères qui se présentent successivement à lui.

Le mécanisme imprimeur est placé à gauche de l'appareil parallèlement au mécanisme compositeur; il consiste dans un piston élastique I mis en mouvement de va-et-vient par un excentrique K appartenant au dernier mobile d'un second mécanisme d'horlogerie M′. Ce mécanisme, comme celui du mécanisme compositeur, est commandé par un électro-aimant E′ et un échappement à chevilles. Seulement la roue de cet échappement n'a que deux chevilles au lieu de seize, de sorte que pour chaque double vibration de la fourchette d'encliquetage, elle accomplit un tour entier sur elle-même. Comme l'excentrique qui met en mouvement le piston imprimeur est fixé sur le même axe que cette roue, il arrive forcément que chaque échappement du mécanisme moteur a pour effet un coup de piston.

Le mécanisme gouverneur de la bande de papier consiste dans quatre rouleaux L, M, N, O, dont l'un N porte une roue à rochet commandée par un encliquetage P. Cet encliquetage, fixé sur la tige du piston imprimeur, est disposé de manière à faire tourner, à chaque mouvement de recul de ce piston, la roue à rochet N de la quantité nécessaire pour que les lettres ne se superposent pas sur la bande de papier où se fait l'impression.

La bande de papier est en provision sur le rouleau L; elle est conduite par le rouleau M entre la roue des types et le piston imprimeur, et se trouve tirée par les rouleaux N et O, a surface rugueuse, qui forment laminoir et dont le dernier O pivote sur de forts ressorts. De plus, un guide Q, en fil de cuivre porté par le piston, écarte suffisamment la

bande de papier de la roue des types, pour que l'encre dont les types sont imprégnés ne la salisse pas.

Le transmetteur de ce télégraphe consiste dans le commutateur complexe que nous avons décrit page 273 (1er vol.), et auquel est ajouté un mécanisme d'horlogerie pour le mettre en mouvement; nous avons vu déjà l'emploi de ce commutateur pour le télégraphe cadran dont les signaux sont étagés sur deux circonférences concentriques.

Avec ce système de manipulateur il faut employer un relais à deux armatures, l'une de fer doux, l'autre aimantée ou, si l'on n'emploie pas de relais, faire communiquer ensemble les électro-aimants E et E′ en prenant pour armature de E′ un barreau aimanté. Voici alors comment l'appareil fonctionne : quand l'aiguille du manipulateur est mise en mouvement, une série de fermetures et d'interruptions de courant est produite à travers le relais ou le récepteur de l'appareil ; mais comme la direction de ce courant est contraire à celle qui doit attirer l'armature aimantée, celle-ci ne bouge pas et l'armature de fer doux est seule mise en mouvement; sous son influence, l'électro-aimant E du mécanisme compositeur est mis en action, et la roue des types qui porte les chevilles de l'échappement tourne comme l'aiguille d'un télégraphe à cadran ordinaire. Mais aussitôt qu'on a abaissé la touche du manipulateur correspondante à la lettre que l'on veut imprimer, le courant se trouve renversé; les deux armatures du relais sont attirées et les deux électro-aimants du télégraphe sont mis en jeu. La lettre signalée arrive donc au repère, et le piston imprimeur, étant poussé par l'excentrique, vient appuyer avec force la bande de papier contre le type qui se trouve devant lui et qui laisse ainsi son empreinte. En rétrogradant, ce piston réagit sur l'encliquetage P et fait avancer la bande de papier de la quantité nécessaire pour la prochaine impression. En abandonnant la touche du manipulateur, le mécanisme d'horlo-

gerie qui met en marche le commutateur, recommence son mouvement jusqu'à ce que l'abaissement d'une nouvelle touche l'arrête de nouveau. Nous remarquerons que dans ce système les impressions ne peuvent se faire que sur des fermetures de courant; il en résulte qu'on ne peut utiliser à l'avancement de la roue des types qu'un seul des mouvements de la fourchette d'encliquetage, mais en employant deux fils cet inconvénient n'existerait plus.

Dans les télégraphes imprimeurs, les erreurs ne pouvant pas être corrigées puisque l'impression ne doit être soumise à aucun contrôle pendant qu'elle s'effectue, il importe pour que les erreurs ne s'accumulent pas, que la roue des types revienne au repère après chaque impression de lettre. En employant l'échappement de M. Breguet et le système que nous avons décrit page 49, au moyen duquel l'aiguille du télégraphe à cadran de ce constructeur peut être amenée au repère d'un seul coup, le problème peut être immédiatement résolu, car il suffit pour cela de faire réagir la roue à rochet N, fig. 1, pl. III, commandant la marche du papier sur le levier PP′, fig. 21, pl. II. On comprend en effet que cette réaction ayant pour effet de dégager la roue d'échappement de la fourchette d'encliquetage, cette roue tourne jusqu'à ce qu'elle soit embridée par l'arrêt secondaire qui correspond au repère. Dans ce cas cependant le mécanisme moteur du piston imprimeur doit avoir sa vitesse tempérée par un système d'ailettes, afin que la roue des types puisse avoir le temps d'effectuer sa révolution pendant le temps de recul du piston.

Nous terminerons ce chapitre sur la télégraphie électrique par la description des appareils de MM. Vaïl, Bain, Brett, Siemens, Freitel et Teiler, nous réservant pour le septième chapitre les télégraphes à double transmission des dépêches qui, dépendant du jeu des relais, se rapportent aux accessoires de la télégraphie électrique.

Télégraphes imprimeurs de MM. Vaïl[1], *Bain*, *Brett*, *Siemens*, *Freitel*, *Theiler*, *etc.* — Comme je l'ai déjà dit, la grande difficulté du problème des télégraphes imprimeurs était d'obtenir le fonctionnement du mécanisme imprimeur,

1. Dans le télégraphe imprimeur de M. Vaïl, le mécanisme compositeur mû par un mouvement d'horlogerie, ne subit la réaction électrique qu'au moment de son déclanchement et de son arrêt, quand le caractère transmis est arrivé devant le repère. A cet effet, ce mécanisme est commandé par un véritable échappement de chronomètre à pendule qui marche synchroniquement avec celui de l'appareil de la station qui transmet et qui devient alors transmetteur; cet échappement à pendule oscille entre les pôles de deux électro-aimants placés l'un vis-à-vis de l'autre, et comme la masse du pendule est en fer doux, il peut servir d'armature à ces deux électro-aimants. Supposons donc que les deux pendules de deux stations A et B soient réglés de manière à faire quatre ou huit oscillations par seconde, il échappera huit ou seize dents des deux roues d'échappement dans cet espace de temps. Par conséquent, si le caractère A de l'appareil de la station B se trouve placé devant le repère à un instant donné, le même caractère A apparaîtra également au même instant devant le repère à la station A. Et, pour les maintenir dans cette position, il suffira qu'un courant soit fermé à travers les électro-aimants de détente précisément au moment où les pendules, ayant accompli l'oscillation correspondante à l'échappement de ce caractère, se trouvent à portée de l'un ou de l'autre de ces électro-aimants. Sous l'influence, en effet, de cette fermeture de courant, le pendule se trouvera retenu et le mouvement d'horlogerie arrêté. Le mécanisme imprimeur pourra dès lors remplir sa fonction.

Ce mécanisme consiste dans une espèce de bague fixée à l'extrémité de l'armature d'un fort électro-aimant, et enveloppant presque entièrement le rouleau sur lequel passe la bande de papier où doit se faire l'impression. Elle se trouve toutefois ouverte à sa partie supérieure pour laisser passer les caractères adaptés sur la circonférence de la roue des types. Ceux-ci sont accompagnés latéralement de deux appendices sur lesquels viennent appuyer les bords disjoints de la bague, lorsqu'une attraction se manifeste. Comme ces caractères sont mobiles sur la roue qui les porte, et retenus seulement par de petits ressorts à boudin, on comprend qu'ils cèdent facilement à la pression exercée sur eux par les bords de la bague, et laissent leur empreinte sur la bande de papier qui se trouve au-dessous d'eux. La fermeture du courant, à travers l'électro-aimant qui commande le mouvement de ce mécanisme imprimeur, s'effectue en même temps que celle qui met en action les électro-aimants de détente; car tous ces électro-

sans l'adjonction d'un circuit spécial. Nous avons vu comment, dans mon télégraphe, ce problème avait été résolu au moyen d'un relais à deux armatures, l'une aimantée, l'autre de fer doux; mais la plupart des constructeurs ont préféré

aimants sont interposés dans le même circuit. Il en résulte donc que l'impression du caractère suit immédiatement l'arrêt de la roue des types.

Le mécanisme qui gouverne la bande de papier consiste dans une petite roue à rochet placée à l'extrémité du rouleau enveloppé par la bague-presse, et cette roue est repoussée d'une dent chaque fois que cette bague se relève sous l'effort du ressort antagoniste de l'armature qui la porte. Pour cela, un petit cliquet d'impulsion est adapté à cette bague, et réagit d'une manière anologue à l'encliquetage fig. 1, pl. III, du télégraphe précédent. Un second rouleau appuyé contre le rouleau précédent et formant laminoir, complète cette partie du mécanisme.

Le transmetteur de ce système télégraphique est adapté à la roue des types de chaque appareil. Il consiste dans une règle métallique, appelée *indicateur*, placée verticalement près de l'une des joues de la roue des types, et percée d'autant de trous qu'il y a de lettres gravées sur cette roue. 25 chevilles métalliques implantées en spirale sur la surface de cette roue, de manière à correspondre, dans le sens du rayon, aux divers caractères en relief, sont disposées de façon que leur éloignement du centre de la roue corresponde exactement à la hauteur des trous pratiqués sur l'indicateur. Si le massif de l'appareil est en rapport avec le fil de la ligne, et si l'indicateur communique avec la pile, on comprend qu'il suffira d'implanter dans l'un ou l'autre des trous de cet indicateur une épingle métallique pour arrêter la roue des types au moment où la cheville de cette roue correspondante à ce trou viendra à passer devant la verticale. Or, comme chacun des trous de l'indicateur correspond à une des lettres en relief de la roue des types, et comme d'ailleurs le mécanisme imprimeur se trouve placé au-dessous de l'indicateur lui-même, il devient facile de faire arrêter devant ce mécanisme telle lettre qui aura été désignée. De plus, comme le contact des chevilles de la roue des types, avec l'épingle de l'indicateur entraîne la fermeture du circuit de la ligne, l'appareil de la station éloignée s'arrête précisément au même instant et l'impression se produit.

M. Vail décrit encore dans son ouvrage plusieurs systèmes de télégraphes-presses dans lesquels plusieurs fils et plusieurs roues sont employés. Comme ils ne présentent rien de particulier que des combinaisons alphabétiques plus ou moins compliquées, faites en vue d'augmenter la rapidité de la transmission, nous n'en parlerons pas dans ce chapitre.

avoir recours à des moyens purement mécaniques. Ainsi dans le télégraphe de M. Bain, la fonction du mécanisme imprimeur est déterminée par un régulateur à force centrifuge sous l'influence d'un temps d'arrêt du mouvement du récepteur[1]. Dans le télégraphe de M. Brett, cette fonction s'accomplit par l'intermédiaire d'un appareil hydraulique dont les mouvements ascendants s'opèrent avec facilité, et

1. La fig. 3, pl. III, représente le télégraphe de M. Bain. Le mécanisme compositeur comprenant la roue des types C, l'aiguille X du cadran indicateur, et le régulateur à force centrifuge W est mis en mouvement par le barillet B dont le jeu est commandé par le cadre galvanométrique RR, qui dans ce système tient lieu d'électro-aimant. C'est un levier L fixé sur ce cadre qui maintient la détente Y de ce mécanisme moteur. Le mécanisme imprimeur composé d'un levier-presse E, mis en jeu par un excentrique V et du système de détente *a b*, reçoit son mouvement du mécanisme d'horlogerie commandé par le barillet P, lequel est régularisé par le volant Q. Enfin le mécanisme récepteur proprement dit qui, dans ce système, se compose d'un cylindre A revêtu d'une feuille de papier et dont l'axe est muni d'une vis sans fin, reçoit son mouvement de rotation saccadé d'un long pignon F, sur lequel réagit un encliquetage adapté au levier-presse à chaque impression de lettre.

Le transmetteur fait partie du cadran sur lequel se meut l'aiguille X; il se compose uniquement d'une série de petits trous correspondant aux différentes lettres de l'alphabet et dans lesquels on introduit alternativement une cheville métallique *d* suivant la lettre qu'on veut signaler. Comme cette cheville et l'aiguille X sont en rapport avec la pile, il arrive que chaque fois que cette aiguille est arrêtée par la cheville *d*, le courant se trouve fermé à travers le cadre galvanométrique RR des deux stations et cette fermeture a pour effet l'arrêt du mécanisme compositeur et par suite celui du régulateur W, dont les boules en s'abaissant dégagent la dent *b* de la détente pour se porter contre la dent *a*. De cette réaction du régulateur il est résulté un mouvement de l'exentrique V qui a déterminé la pression de la roue des types C contre le rouleau A, et comme cette roue des types a marché synchroniquement avec l'aiguille X des deux stations, c'est le caractère correspondant à celui désigné par cette aiguille qui se trouve imprimé. Quand la cheville est retirée du transmetteur, les appareils se mettent de nouveau en marche aux deux stations, le levier Z du régulateur vient butter contre la dent *b*, qui est très-rapprochée de la dent *a*, et les aiguilles avancent sur le cadran jusqu'à ce qu'un nouvel arrêt de l'une de ces aiguilles ait provoqué une nouvelle impression.

dont les mouvements descendants s'effectuent avec lenteur. Cette lenteur est suffisante pour empêcher le déclanchement du mécanisme imprimeur quand les lettres passent rapidement, mais elle devient impuissante à maintenir ce mécanisme quand la transmission de la lettre s'effectue avec un temps d'arrêt [1]. Dans le système de M. Siemens,

1. Le télégraphe de M. Brett qui paraît avoir été inventé par M. House, est représenté fig. 2, pl. III. La roue des types de ce télégraphe est en R; elle a pour moteur le mécanisme à trois mobiles M et est commandée par une ancre d'échappement LL, relié à l'électro-aimant X X' par la tige T. Sur les chevilles de la roue d'échappement qui n'est autre que la roue des types elle-même, est appuyé un levier B, auquel est adapté le régulateur hydraulique S, et qui porte en même temps deux petits butoirs dont l'un pendant le jeu du mécanisme compositeur est engagé dans une petite entaille pratiquée sur un excentrique E faisant partie du mécanisme imprimeur. Celui-ci est mû par le mouvement M', dont l'excentrique E constitue le troisième mobile. Il réagit par l'intermédiaire d'une double bielle C, sur le cylindre récepteur D dont l'axe pivote au sommet d'un double compas IGH, articulé en I sur le bâti de l'appareil. Un ressort fixe K, placé à portée d'une roue à rochet, porté par le cylindre D, fait tourner celui-ci de l'intervalle d'une dent de ce rochet à chaque mouvement de recul du système sous l'influence des bielles C. La bande de papier PP sur laquelle s'imprime la dépêche est enroulée en provision sur un rouleau O. Enfin la sonnerie d'alarme Q est mise en tintement par une tige *a* adaptée au levier B.

L'appareil hydraulique représenté fig. 2 *bis*, consiste dans un vase V rempli d'eau, à l'intérieur duquel se trouve un petit corps de pompe A, étranglé en B et percé de petits trous *cc*, etc.; au-dessus de cet étranglement est adaptée une soupape S. Enfin un piston P vissé à l'extrémité de la tige T se meut à l'intérieur du corps de pompe. Il résulte de cette disposition que quand la tige T soulève le piston P, l'eau qui s'introduit par les orifices *c,c* soulève la soupape et n'est pas par conséquent un obstacle à l'élévation de ce piston; mais quand la tige T redescend, cette soupape S qui est retombée empêche l'eau introduite de s'écouler aussi facilement, et la chute du piston se trouve retardée.

Le transmetteur de ce télégraphe a été combiné de plusieurs manières par M. Brett. Dabord il était à clavier comme celui de M. Froment que nous avons décrit; puis il s'est trouvé transformé en manipulateur à cadran mobile analogue à ceux que M. Breguet avait adoptés primitivement pour ses télégraphes à cadran. Voici maintenant comment cet appareil fonctionne :

Toutes les fermetures et interruptions de courant produites par le ma-

c'est la force d'inertie magnétique des gros électro-aimants qui a été utilisée dans ce but[1]. Dans le télégraphe de M. Freitel[2], le problème a été résolu par une tension iné-

nipulateur ont pour effet, comme dans tous les télégraphes, de faire tourner la roue R; sous l'influence de ce mouvement le levier B s'est trouvé soulevé, et comme le gouverneur hydraulique ne lui permet pas de redescendre aussi facilement qu'il est monté, il reste dans cette position pendant que la roue tourne. Quand celle-ci se trouve arrêtée sous l'influence du manipulateur et alors que la lettre transmise est arrivée au repère, ce levier s'abaisse et dégage l'excentrique E; celle-ci attire alors le rouleau D contre la roue des types et la lettre signalée se trouve imprimée. En revenant à sa position primitive la roue à rochet dont est muni ce cylindre rencontre le ressort K et tourne de l'intervalle d'une dent en entraînant avec elle la bande de papier. Aussitôt après que le levier B a dégagé l'excentrique E pour l'impression de la lettre, la seconde cheville dont il est muni vient s'enfoncer dans l'entaille de l'excentrique qui est alors revenu presque au repère pour empêcher qu'un arrêt trop prolongé de la roue des types n'entraîne deux impressions au lieu d'une. Ce n'est que quand la roue R entre de nouveau en mouvement que cet excentrique revient à sa position initiale par suite du soulèvement du levier B.

M. Brett a apporté à cet instrument plusieurs perfectionnements sur lesquels nous n'insisterons pas parce qu'ils sont inférieurs à ceux du télégraphe de M. Theiler, et dont le principal a pour but de ramener la roue de types au repère après chaque impression de lettres.

1. M. Siemens prétend que l'électro-aimant qu'il emploie pour produire directement l'impression de la lettre transmise est construit de telle manière qu'il ne peut s'aimanter suffisamment, pour fonctionner, que quand la durée de la fermeture du courant est appréciable. Or, dans le mouvement continu et saccadé de l'aiguille de son télégraphe, les interruptions et fermetures du courant sont trop rapprochés, dit-il, pour déterminer un mouvement complet du mécanisme imprimeur. Je ne sais jusqu'à quel point un télégraphe fondé sur un pareil principe peut être régulier dans sa marche.

2. Le télégraphe de M. Freitel, qui a figuré à l'Exposition universelle de 1855, a une disposition toute particulière et complétement différente de celle de tous les télégraphes que nous avons jusqu'à présent étudiés. Il imprime la dépêche, non plus sur une bande de papier plus ou moins longue, mais sur une large feuille avec des lignes droites et superposées.

Le principe sur lequel est fondé ce télégraphe est, qu'un électro-aimant ayant deux armatures juxtaposées et inégalement tendues peut, comme nous l'avons indiqué page 215, 1er volume, agir sur l'une avec une

gale des ressorts antagonistes des armatures commandant les deux mécanismes, compositeur et imprimeur. Alors ce sont deux piles d'inégale puissance qui déterminent

certaine force électrique, sans agir sur l'autre. Partant de ce principe, M. Freitel divise sa pile en deux, en faisant réagir seulement l'une des moitiés de cette pile sur l'armature qui commande le mécanisme télégraphique, et en utilisant la pile entière pour mettre en mouvement le mécanisme imprimeur qui, dans ce système, fonctionne directement, sans mouvement d'horlogerie.

Le mécanisme compositeur, dont la roue des types se voit en BD (fig. 14, pl. III), est mû par un mécanisme d'horlogerie F, dont le barillet est en P. Il est commandé par une roue d'échappement à rochet, dont l'ancre H est adaptée à l'extrémité d'une longue bascule AH pivotant en A. Cette bascule correspond à l'armature inférieure de l'électro-aimant EE.

La feuille de papier sur laquelle doit être imprimée la dépêche est placée tangentiellement à la roue des types, dans une position verticale; elle est tendue sur un châssis I J K O adapté à un chariot mobile sur un petit chemin de fer. Ce chariot porte une crémaillère X Y, sur laquelle réagit un encliquetage dépendant du mécanisme imprimeur.

Ce mécanisme imprimeur, qui est placé derrière le châssis I J K O, est relié à l'armature supérieure de l'électro-aimant par la tige L. Il se compose d'un système de marteau à bascule correspondant au repère C, et dont on voit la partie inférieure et l'articulation en S; 2° d'un système d'encliquetage M réagissant sur la crémaillère X Y. Cet encliquetage est représenté vu en plan (fig. 14 *bis*) et vu de profil (fig. 14 *ter*). En voici le jeu :

Au moment où l'électro-aimant E E a suffisamment de force pour attirer l'armature supérieure, la tige L, par l'intermédiaire d'un levier coudé auquel elle est articulée, et qui est mis en mouvement par cette armature, se trouve poussée de L vers K et fait fonctionner l'encliquetage M, qui fait avancer d'un pas le chariot. En même temps, un système de leviers articulés fait basculer le levier N N′ qui, en appuyant sur la bascule du marteau articulé en S, fait frapper celui-ci contre le caractère de la roue des types qui se trouve au repère. Par suite de cette réaction, la feuille de papier qui se trouve interposée entre le marteau et la roue des types reçoit une impression. Comme le chariot qui porte cette feuille de papier a avancé d'un cran de la crémaillère, par suite de la réaction de l'encliquetage M, cette impression succède à celle qui l'a précédée.

Quand, après une série d'impressions, la feuille de papier se trouve au bout de sa course, en un mot, quand une ligne est terminée, un

la double réaction. De ces différents systèmes, c'est celui de M. Theiler qui a fourni jusqu'à présent les meilleurs résultats[1]. Nous aurions voulu pouvoir parler de deux nouveaux appareils de ce genre qui viennent d'être construits,

butoir en biseau, porté par le chariot, vient rencontrer une détente R', qui a pour fonction de dégager l'encliquetage de la crémaillère, ainsi qu'on le voit fig. 14 *ter*. Alors un contre-poids W, qui sert de force antagoniste au mouvement du chariot, entraîne celui-ci en sens inverse des attractions successives, et reporte la feuille de papier à l'extrémité opposée de sa course. Mais, un peu avant que cette feuille ait atteint sa position extrême, deux galets *a*, *a'*, portés par le châssis I J K O, viennent rencontrer deux plans inclinés U U, sur lesquels ils montent; et, en accomplissant cette ascension, ils soulèvent des cliquets *b b*, engagés dans les dents de deux cremaillères K I, J O, portées par le châssis lui-même. Par suite, la feuille de papier se trouve soulevée d'une quantité égale à l'épaisseur d'une de ces dents. Dès lors l'interligne est obtenue et les impressions peuvent se faire sur une nouvelle ligne placée sous la première. Ce mouvement de recul du chariot a encore été utilisé par M. Freitel à heurter une bascule, pour amener une certaine quantité d'encre sur les rouleaux Z Z Z.

L'appareil transmetteur de ce télégraphe est un simple manipulateur de télégraphe à cadran, dont la poignée, au lieu d'être rigide, est flexible. Elle porte un frottoir, qui peut s'enfoncer par une simple pression dans des trous disposés au-dessus de chaque lettre. Quand ce butoir est enfoncé, il réunit les courants des deux piles et fait agir le mécanisme imprimeur, tandis que le commutateur fixé sur l'axe de cette poignée a fait passer successivement les différentes lettres de la roue des types qui ne devaient pas être imprimées.

1 Le télégraphe de M. Theiler, comme ceux de MM. Vaïl et Bain, est fondé sur l'isochronisme de deux mouvements d'horlogerie. L'un de ces mouvements à 3 mobiles, fait fonctionner le mécanisme compositeur, l'autre un manipulateur particulier, représenté fig. 4 *ter*, pl. III. La roue des types R, fig. 4 *bis*, pl. III, ou plutôt les roues des types, car il y en a deux, est en aluminium et de très-petit diamètre, afin d'être plus légère; elle présente néanmoins sur sa circonférence une large échancrure *a b*, dont nous verrons à l'instant l'utilité. L'axe sur lequel elle est montée porte: 1° une roue d'échappement de 17 dents A, fig. 4, armée sur le côté de 29 chevilles en correspondance avec les caractères de la roue des types, et munie d'une ancre d'encliquetage B formant pendule, c'est-à-dire l'organe régulateur du mouvement synchronique; 2° un bras d'encliquetage C, arrêté en temps ordinaire par un levier D, lequel est monté sur l'axe de la bascule E F, à laquelle est fixée l'armature de l'électro-aimant M; 3° enfin

l'un par M. Breguet, l'autre par M. Mouilleron, et qui, dit-on, marchent de la manière la plus satisfaisante; mais les droits de propriété de leurs inventeurs n'étant pas encore établis, il nous est impossible d'en exposer même le principe.

un excentrique à ressaut G, agissant sur un levier articulé H, dont nous verrons à l'instant la fonction.

Le mécanisme imprimeur se compose uniquement d'un bec I, fig. 4 *bis*, muni de flanelle, adapté à l'extrémité de la bascule EF dont l'axe porte en même temps un second levier à crochet J. Ce levier est placé de manière à servir de cliquet d'arrêt à la roue A, fig. 4, en s'introduisant entre les chevilles de cette roue.

Le mécanisme commandant la bande de papier consiste dans deux cylindres K, L, dont l'un K, est mis en mouvement par le 2e mobile du mécanisme d'horlogerie, à la manière des télégraphes Morse. Le cylindre N est le rouleau à l'encre; enfin le relais qui fait marcher l'électro-aimant M est en P. Son armature est à bascule et placée de manière à subir la réaction du levier H.

Le manipulateur est un transmetteur à clavier circulaire, mis en jeu par un mouvement d'horlogerie marchant synchroniquement avec celui du récepteur de la station éloignée; il porte un mécanisme au moyen duquel une touche étant simplement abaissée, se trouve maintenue dans cette position le temps suffisant pour l'impression de la lettre, et le mouvement qui s'opère alors donne lieu à deux fermetures de courant, l'une au moment du dégagement du mécanisme moteur, l'autre au moment où un index de repère passe devant la touche abaissée. Ces fermetures ne durent qu'un instant, mais cet instant suffit pour réaliser l'effet rendu. Nous décrirons à l'instant ce mécanisme. D'après la disposition de cet interrupteur, on comprend que, sous l'influence de la première fermeture du courant, l'électro-aimant M dégage le mécanisme d'horlogerie en écartant le levier D, fig. 4, du bras d'encliquetage C; toutefois aucune impression n'est alors produite, puisque l'échancrure *ab* se trouve placée devant le bec du levier imprimeur: comme le courant n'est qu'instantané, la roue des types et la roue d'échappement qui la commande tournent sans obstacle de la part du levier J jusqu'à la seconde fermeture du circuit, qui met alors ce levier J en prise avec la roue A, ce qui provoque l'impression du caractère placé en ce moment devant le bec du levier EF, lequel caractère est le même que celui de la touche abaissée, puisque les deux mouvements sont synchroniques. Immédiatement après que cette double fonction s'est accomplie, le levier H se trouve abaissé brusquement par l'excentrique, et détache forcément l'armature du relais, dans le cas où le magnétisme rémanent la maintiendrait attirée; après quoi le système se trouve arrêté, quand le bras C vient rencontrer le levier D, c'est-à-dire quand la roue des types est arrivée au repère. De cette manière toutes les impressions sont indépen-

CONCLUSION.

Quand on considère l'ensemble des différents systèmes télégraphiques que nous venons de passer en revue dans ce chapitre, on se demande naturellement lequel de ces systèmes est le meilleur. Posée ainsi, la question ne serait pas facilement discutable, car tel système qui pourrait être le meilleur dans certains cas serait très-inférieur dans d'autres. Il faut avant tout savoir ce que l'on exige de ces appareils, à quelles mains ils doivent être confiés, dans quelles circonstances ils doivent fonctionner, le prix qu'on peut mettre à leur installation, l'importance de leur service, etc., etc.;

dantes les unes des autres. La roue à rochet R, et les becs d'encliquetage T et S, sont établis pour la sûreté de l'arrêt au repère.

Le mécanisme du manipulateur consiste 1° dans un cerceau *ddd*, fig. 4 *ter*, appuyé sur l'extrémité des touches et portant un butoir d'arrêt *e*; 2° d'un système de bascule *bff'* mis en mouvement autour de l'axe *a* par le mécanisme d'horlogerie et marchant synchroniquement avec la roue des types; 3° d'un conjoncteur *h* susceptible de fermer le courant quand la bascule se trouve soulevée par son bout *f'*; 4° d'une roue dentée *lll* indépendante du mouvement d'horlogerie, et dont les dents correspondent aux touches du clavier qui sont à bascule. Cette roue est susceptible d'un petit déplacement vers la droite quand en abaissant ces touches un butoir en biseau qu'elles portent repousse de côté ces dents. Mais une fois la touche entièrement abaissée, cette roue revient à sa position normale appelée par le ressort *m*. En outre de ces organes, ce mécanisme possède un butoir fixe *g* placé près du point opposé au repère, et un crochet *n* qui réagit sur la roue *lll*. Voici comment cet appareil fonctionne : Quand le levier *bff'* est mis en mouvement par suite du soulèvement du cerceau *ddd* qui dégage le butoir *c*, l'arc *f'* rencontre le butoir *g* qui le soulève, et le ressort *h* opère un contact métallique qui ferme le courant; en même temps la touche abaissée a laissé passer une dent de la roue *lll* au-dessous d'elle, et cette dent l'empêche de se relever. L'arc *f'*, en passant au-dessus de cette touche, rencontre un petit butoir *k* qui se trouve alors élevé, et qui, en faisant basculer le système, provoque une deuxième fermeture du circuit; enfin, quand le tour complet du levier *bff'* est près d'être accompli, le butoir *c* rencontre le crochet *n* qui donne un petit mouvement à la roue *lll*, et dégage la touche abaissée.

Il est à remarquer que le nombre des échappements du manipulateur doit être plus considérable que celui des échappements du récepteur, à cause du temps nécessité par l'impression des lettres.

suivant ces différents cas, le choix des appareils peut être modifié. Quand on demande seulement aux télégraphes une grande promptitude dans la transmission des dépêches, sans tenir compte des frais de l'installation, de la difficulté de l'interprétation et de la manipulation des signaux, le télégraphe à double aiguille des Anglais et le télégraphe à signaux Chappe de M. Breguet, doivent être préférés. Dans un moment on a cru que le télégraphe électro-chimique de M. Bain l'emporterait, mais on n'a pas tardé à reconnaître que le temps de composer la dépêche sur une bande de papier à l'aide de l'emporte-pièce, et de faire circuler cette bande à travers l'appareil, était en définitive plus long que celui employé à transmettre avec les manipulateurs. Quand on veut mettre le service d'une ligne télégraphique entre les mains d'employés qui ne sont pas habitués à la manœuvre des appareils télégraphiques, les télégraphes à cadran de M. Breguet, de M. Froment, de M. Drescher, etc., doivent être choisis de préférence. Sur les lignes sous-marines où des réactions d'induction se manifestent avec une certaine intensité, on devra employer des appareils à courants alternativement renversés, et à déchargeurs tels que les télégraphes de M. Varley.

Si on fait entrer en ligne de compte l'économie de l'installation et que l'on tienne à posséder un moyen de contrôle télégraphique, les télégraphes Morse, soit à signaux simples, soit à signaux combinés, devront être particulièrement choisis; ils présentent d'ailleurs un avantage immense, c'est de fournir des signaux indépendants les uns des autres pour leur transmission, ce qui empêche l'accumulation des erreurs. Quand les lignes télégraphiques sont surchargées de dépêches, il faut employer les télégraphes à double transmission des dépêches. Enfin, quand on veut établir d'une manière économique une correspondance télégraphique peu compliquée, les télégraphes auditifs, comme la sonnerie télégraphique de Mirand, fournissent des ressources inap-

préciables. On peut, en effet, à l'aide de ces télégraphes, faire exprimer aux différentes combinaisons qui représentent les lettres de l'alphabet, des phrases toutes faites en rapport avec les besoins habituels et prévus des localités où ces appareils sont installés ; or, dans ces conditions, la transmission de ces signaux devient plus simple et plus prompte que celle de tous les autres systèmes télégraphiques. Aussi dans les établissements industriels, et dans une foule de cas dont nous parlerons plus tard, c'est ce genre de système télégraphique qui a été préféré.

Je n'ai pas parlé jusqu'à présent de la préférence qu'on pourrait accorder aux différents systèmes de télégraphes imprimeurs, et cela pour cause, car la question pratique de leur installation est encore loin d'être résolue, ou plutôt elle pourra bien ne l'être jamais. En effet, ces appareils, quelque parfaits qu'ils soient, sont tellement compliqués, tellement lents dans la transmission des dépêches, tellement délicats dans leurs manœuvres, tellement susceptibles de se déranger, qu'on préférera toujours les télégraphes à signaux simples qui ne nécessitent pas un personnel plus nombreux et auxquels on peut faire exprimer une langue sténographique très-abréviative. En résumé, mon opinion est que les télégraphes imprimeurs sont une heureuse conception, une application ingénieuse de l'électricité ; mais qu'ils ne peuvent être employés dans la pratique. Ce que je dis des télégraphes imprimeurs peut s'appliquer aux télégraphes autographiques, et il n'y aurait que dans le cas où l'on aurait besoin d'une confrontation immédiate d'écritures, que ce système pourrait avoir quelque application. Quant aux télégraphes des gouvernements, je crois qu'on a bien fait de les choisir dans le système Morse. La plupart des conditions économiques et de sûreté s'y trouvent réunies, et s'ils fonctionnent moins vite que plusieurs autres, on peut regagner amplement cette vitesse par l'adjonction d'un système à double transmission.

II

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A LA SÉCURITÉ DES CHEMINS DE FER.

L'idée d'appliquer la télégraphie électrique à la sécurité des chemins de fer a été la conséquence naturelle de l'installation des premières lignes télégraphiques le long des voies ferrées. Ayant été témoins des merveilleux résultats produits par ces moyens de relation, et trouvant une installation toute faite, les administrateurs des lignes sur lesquelles on avait expérimenté devaient naturellement chercher à établir pour leur propre compte une ligne télégraphique traversant toutes leurs stations, afin qu'elles pussent correspondre entre elles. Dire quel fut le premier chemin de fer qui fit cette application serait chose presque impossible; toujours est-il qu'on ne se proposait alors, dans cette installation, que de contrôler et d'accélérer le service de la voie, et de signaler, d'une station à l'autre, le départ ou le passage des trains. Plus tard, on put mieux apprécier les avantages de ce système de communication et en reconnaître toute l'importance, au point de vue de la sécurité de la marche des convois eux-mêmes. Avec ces moyens de correspondance, en effet, si les trains sont en retard, la cause en est connue; s'ils sont en détresse, ils peuvent avoir bientôt du secours; s'ils sont pressés et qu'ils ne puissent avancer suffisamment, ils demandent du renfort, qu'on leur envoie ou qu'on leur prépare; s'il y a quelque chose d'extraordinaire sur la ligne, ils en sont prévenus à leur passage devant chaque station; s'ils sont arrêtés pour une cause ou pour une autre, on n'a plus besoin d'envoyer une machine à la découverte : quelques signaux échangés

entre les appareils télégraphiques des stations donnent tous les renseignements nécessaires. Les trains spéciaux ne peuvent être réellement spéciaux que sur un chemin de fer ayant une ligne télégraphique; car c'est par ce seul moyen qu'ils peuvent obtenir la voie libre devant eux. Un chemin de fer à simple voie ne peut exister avec des convois à grande vitesse, qu'autant qu'un télégraphe les préviendra qu'ils ne rencontreront pas, chemin faisant, d'autres convois venant à leur rencontre. Dans le cas où une machine se trouve mise en marche sans guide, ce qui est arrivé quelquefois, des avis peuvent être immédiatement transmis aux différentes stations, pour éviter un choc et pour qu'on puisse envoyer une autre machine à la chasse de la machine vagabonde.

Aujourd'hui tous les chemins de fer ont leur ligne télégraphique; mais, malgré cet auxiliaire important tous les accidents n'ont pu être évités, et nous voyons bien souvent, par les journaux, qu'il arrive encore bien des catastrophes. On était donc en droit de demander à la science, qui avait déjà tant fait dès l'origine, quelque chose de plus, afin de compléter le système de sécurité des chemins de fer.

Plusieurs systèmes ont été proposés depuis quelques années dans ce but. Mais le mauvais vouloir des compagnies, l'amour-propre mal placé de certains ingénieurs et l'insouciance de certains autres, ont empêché que ces moyens ne fussent adoptés. Comme cette question est une des plus importantes que nous aurons à traiter, il est à propos que nous la discutions ici, avant que de décrire les systèmes qui ont été imaginés.

Les objections faites par les compagnies et les ingénieurs peuvent se résumer de la manière suivante :

1° Les moyens électriques ne sont pas assez sûrs pour qu'on puisse leur confier exclusivement la sécurité des che-

mins de fer, et l'on en trouve la preuve dans l'irrégularité de la marche des télégraphes.

2° Ces moyens, employés concurremment avec la surveillance intelligente qu'on apporte actuellement à la sécurité des chemins de fer, rendraient les surveillants moins attentifs, endormiraient leur responsabilité, et l'on se trouverait dès lors exclusivement livré aux caprices de l'électricité.

Je ne parle pas, bien entendu, des objections qu'ont faites certaines compagnies (dont je tairai les noms par honneur pour la France), qui vont jusqu'à prétendre qu'*il n'arrive pas d'accidents sur les chemins de fer.*) (*Sic.*) Tous les journaux de l'année dernière sont là pour leur donner un éclatant démenti, et témoigner par là de leur honteuse insouciance.

Examinons la valeur des objections précédentes.

S'il fallait renoncer, en employant les systèmes électriques, à la surveillance intelligente qu'on apporte actuellement à la sécurité des chemins de fer, je regarderais les objections émises comme parfaitement valables. Mais en quoi des indications qui ne peuvent être fournies que par des moyens physiques, qui n'ont rien de commun avec le service des employés, qui ne se manifestent qu'en cas de danger et alors que tous les moyens de surveillance actuellement usités sont restés impuissants, peuvent-elles endormir la surveillance de ces employés? Ne pourra-t-on pas exiger d'eux, comme à l'ordinaire, le même service? Leur responsabilité en sera-t-elle moins grande, en cas d'infraction aux règlements? Il faut réellement, pour qu'on émette sérieusement une pareille objection, qu'on n'ait pas étudié les moyens proposés.

D'un autre côté, quand bien même les télégraphes seraient sujets à quelques irrégularités, s'ensuit-il que les indications concernant la sécurité des chemins de fer

soient dans le même cas? Quelle est la cause principale des irrégularités télégraphiques? C'est, d'une part, une vitesse trop grande dans la transmission des signaux d'une autre part, le défaut de précision dans les mécanismes des instruments, enfin l'irrégularité de force du courant. Avec des appareils indicateurs tels que ceux qui sont nécessaires pour la sécurité des chemins de fer, cette vitesse de transmission des signaux n'existe pas, cette précision dans les mécanismes n'est pas essentielle, et cette irrégularité de force du courant est insignifiante, puisqu'on peut employer des relais qui, dans ce cas, n'ont pas les mêmes inconvénients que sur les lignes télégraphiques. Enfin, par des mécanismes additionnels, on peut prévenir les employés des stations, en cas de rupture des fils, et en employant certains systèmes de régulateurs électriques, dont nous parlerons plus tard, on pourrait même avertir, quand il faut recharger les piles, ou quand il y a une déperdition du courant. Où sont donc dès lors les causes d'irrégularités qui peuvent compromettre la sécurité des convois?

Pour peu qu'on réfléchisse à ces objections, on se convaincra facilement qu'elles ne sont autre chose que des fins de non-recevoir données dans un but que je ne veux pas analyser, tant il me paraît petit et mesquin, et que l'on a voulu colorer d'un semblant de raison.

Les systèmes électriques proposés jusqu'à présent pour la sécurité des chemins de fer peuvent se diviser en quatre catégories : 1° les systèmes télégraphiques mis en activité par une fonction humaine; 2° les systèmes contrôleurs; 3° les systèmes automatiques par avertissement; 4° les systèmes automatiques par arrêt des convois.

SYSTÈMES TÉLÉGRAPHIQUES.

Système de M. Cooke. — L'un des plus anciens systèmes de ce genre qui aient été proposés paraît être celui que

M. Cooke imagina, quelques années après l'établissement des premiers télégraphes anglais, pour la sécurité des chemins de fer à une voie. Il consiste à diviser la ligne télégraphique par sections et à placer, dans chacune des stations comprises dans ces sections, un appareil télégraphique (système Wheatstone) contenant autant d'aiguilles qu'il y a de stations échelonnées dans la section à laquelle il appartient. Celles de ces stations qui forment limites des sections se trouvent munies de deux appareils, l'un en rapport avec les stations de la section de droite, l'autre avec les stations de la section de gauche. Toutes les aiguilles qui, sur la ligne, portent un même nom, sont liées entre elles par un même fil et doivent être déviées dans le même sens. De plus, ces aiguilles correspondent chacune à un commutateur, au moyen duquel on peut réagir sur celui des circuits de la section qui correspond à la station à laquelle on veut parler.

Supposons qu'il s'agisse du Midland-Counties-Railway que M. Cooke a pris pour exemple, dans sa notice sur ce système. Ce chemin sera divisé en trois sections : 1° la section du nord, comprenant 5 stations, Derby, Borrowast, Sawley, Kegworth, Longborough; 2° la section du milieu, comprenant les stations de Sileby, Syston, Leicester; 3° enfin la section du sud, renfermant 5 autres stations, Wigston, Broughton, Ullestrope, Siding et Rugby. Si l'un des gardiens de la station de Longborough, par exemple, a besoin de correspondre avec un autre gardien, celui de Leicester, je suppose, il n'emploie que sa propre aiguille et celle de son correspondant. Pour cela, il fait d'abord sonner le timbre d'alarme; puis, en même temps qu'il donne un signal, il annonce d'où celui-ci vient. Après ces préliminaires, les deux employés correspondent l'un avec l'autre, au moyen de leurs deux aiguilles, comme ils le feraient avec un simple télégraphe, c'est-à-dire qu'ils peuvent

transmettre toutes sortes de dépêches. Les doubles appareils placés aux stations extrêmes des sections intermédiaires fournissent, comme on le comprend facilement, le moyen de transmettre à toute l'étendue de la ligne une nouvelle qui, sans cela, ne circulerait que dans la section.

« Voyons maintenant, dit M. Cooke, comment, après cette installation des appareils télégraphiques, on pourra diriger la marche des convois. Suivons dans sa marche un extra-train, un train inattendu, en dehors du service habituel, et qui doit aller de Derby à Rugby. Quelques minutes avant que le train s'éloigne de Derby, le surveillant fait sonner le timbre d'alarme de Borowash; puis, tournant vers la gauche la manivelle de Derby, il fait dévier toutes les aiguilles qui portent sur la section le nom de Derby. Il fait connaître ainsi aux surveillants de toutes les autres stations qu'un train, sur le point de partir, attend seulement que la voie soit libre. Si la voie est libre, en effet, le gardien de Borowash, en tournant à son tour la manivelle, fait dévier toutes les aiguilles qui portent le nom de sa station, cette correspondance est l'affaire d'un clin d'œil. Quand tout est prêt, le surveillant donne l'ordre du départ, et aussitôt que le train se met en mouvement, il ramène sa manivelle, et par suite son aiguille à la position verticale; et toutes les aiguilles Derby de la section, en revenant à cette même position, indiquent qu'un train parti de Derby se trouve entre Derby et Borowash.

« Par cette annonce anticipée, le gardien de Sawley est en mesure de de transmettre au gardien de Borrowash le signal *Hinzug, marchez*, pour que celui-ci puisse indiquer au train qui s'approche que la voie est libre et qu'il peut poursuivre sa route. Comme la distance entre Derby et Borrowash est de quatre milles, le train met à peu près huit minutes à la franchir; et ces huit minutes sont un espace de

temps suffisant, pour qu'en cas de négligence des gardiens de Sawley, le gardien de Borrowash puisse exciter son attention en sonnant la cloche d'alarme, lui demander si la voie est libre, et recevoir la réponse avant l'arrivée du convoi. Bientôt on voit le train arriver à Borrowash ; s'il ne doit pas s'arrêter à cette station, on donne au conducteur le signal ordinaire de continuer sa route. En même temps, le gardien du télégraphe ramène sa manivelle à la position verticale, toutes les aiguilles Borroswash redeviennent verticales, et annoncent qu'un train en marche sort de Borrosvash et se trouve sur la route de Sawley ; on continue de la même manière, tant que la route est libre.

« Avant que le train atteigne la dernière station de la section du nord, un signal, parti de Longhborough vers Leicester, annonce à toute la section du milieu qu'un convoi va partir tout à l'heure ; comme Leicester reçoit, en même temps que Longhborough, la nouvelle de l'arrivée du convoi, et que les deux arrivées sont séparées par l'intervalle d'une demi-heure au moins, on a, comme on le comprend facilement, tout le temps nécessaire pour ranger les wagons de bagages, qui pourraient se trouver sur la voie. Les surveillants de la section ont aussi le temps de déterminer le lieu où les convois, qui vont au-devant l'un de l'autre, doivent s'éviter mutuellement. Pour procéder dans ce cas avec régularité, on doit, à l'arrivée d'un convoi dans la station intermédiaire, fixer sur la feuille de route la station à laquelle il doit d'abord s'arrêter, pour attendre que l'autre soit passé; quand le choix est fixé, on lui expédie par le télégraphe à la station dont il s'agit l'ordre de s'arrêter. Si, par un accident quelconque, l'un ou l'autre des convois était en retard, on modifierait par le moyen du télégraphe l'ordre primitivement donné, en désignant à l'aide de la feuille de route la nouvelle station d'arrêt.

« Supposons qu'entre Sileby et Syston il y ait quelques wa-

gons de marchandises; que la permission de les laisser sur la voie ait été demandée aux stations de la section à peu près en ces termes : des wagons de marchandises devraient rester sur la ligne entre Sileby et Syston de deux à cinq heures, et que les gardiens aient indiqué cette circonstance par le mouvement de leurs manivelles. L'extra-train que nous suivons dans sa course, venant à demander tout à coup que la voie soit libre plus tôt, on répond à cette exigence en envoyant par le télégraphe, à Leicester, la dépêche suivante : On fera suivre aux wagons de marchandises la voie latérale pour les faire entrer dans la gare directement, et cela fait on signalera que la voie est libre. Dans le cas où quelque autre empêchement se présenterait, où une catastrophe, par exemple, aurait jeté sur la voie un convoi dont la présence n'aurait pas pu être signalée à temps, les autres trains continueront leur route, comme à l'ordinaire, jusqu'aux stations voisines, et aussitôt que le télégraphe aura annoncé leur arrivée; avertis ils s'avanceront jusqu'au point où les embarras existent, pour continuer définitivement leur route, après avoir échangé leurs passagers.

« Revenons à l'extra-train que nous pouvons supposer arriver à Leicester; avant qu'il ne s'engage dans la section sud, on écrit sur la feuille de route qu'il rencontrera un autre train à Broughton, et qu'il le passera. Les deux trains ont donc reçu le même ordre et s'avancent l'un vers l'autre. Lorsque le train qui va en amont s'approche de Wigston, le surveillant de cette station, qui a été prévenu d'avance que la voie vers Brougthon est libre, donne la permission de s'avancer, et dès que le convoi a passé, il ramène de nouveau sa manivelle à la position verticale, ce qui entraîne, ainsi que nous l'avons indiqué, la cessation de son signal; on donne de la même manière, au convoi qui vient, l'autorisation de s'avancer vers Ullestrope, et les deux trains s'approchent

en sens contraire vers Broughton, lieu de leur croisement.

« Il suffira de quelques mots pour expliquer les signaux qui font obtenir ce résultat. Pour ce qui regarde notre extra-train, dès que, comme à l'ordinaire, le gardien de Broughton a connu, par la cessation du signal de Leicester, que le convoi se trouvait sur la voie entre Leicester et Wigston, il donne le signal d'avancer, et ce signal, dans les cas ordinaires, persiste, sur l'appareil Broughton, jusqu'à ce que ce convoi approche de Broughton. Dans le cas actuel, le gardien de Broughton aurait à donner à la fois les deux signaux : *Hinzug*, marchez; *Herzug*, venez; et pour cela il se sert momentanément de sa manivelle pour annoncer dans ces deux directions que la voie est libre, et que les rails d'évitement seront prêts à recevoir les deux trains qui vont se rencontrer. Aussitôt que le gardien de Wigston a donné le signal Wigston, le gardien de Broughton répète immédiatement le même signal Wigston, comme indication que le train qui vient de Derby n'est pas encore arrivé à Broughton. Le signal Herzug, (venez), sera reproduit de la même manière sur la section d'Ullestrope. Aussitôt que les deux trains se trouvent aux stations voisines de Broughton, les sections de Wigston et d'Ullestrope font connaître qu'ils ne se sont pas encore atteints; on envoie à Broughton le signal *arrêtez, halt*, et les trains, en arrivant, circulent sur les rails de croisement qui leur étaient respectivement destinés. Maintenant quand le gardien de Broughton cesse les signaux aux stations des sections de Wigston et d'Ullestrope, il fait entendre par là que les trains sont prêts à continuer leur route, et il fait aussitôt sonner les timbres d'alarme de Wigston et d'Ullestrope. Il ramène ensuite les manivelles à la position verticale. Les deux trains se trouvent alors dans le même cas que s'ils étaient prêts à partir d'une station extrême, et l'on transmet aux stations voisines les

signaux déjà décrits de la même manière qu'on l'a fait au commencement du voyage.

« Il serait inutile de suivre plus loin l'extra-train, car toutes les difficultés ont été examinées, et il ne peut survenir aucun obstacle qui ne soit levé sur-le-champ par les moyens énumérés.

« Si, par une cause quelconque, on ne pouvait pas obtenir de réponse d'une certaine station, on enverrait un signal à travers cette station aux stations voisines; après qu'on aura par là acquis la certitude qu'aucun autre train ne se trouve sur la voie dans l'intervalle à parcourir, on permettra au convoi de s'avancer avec précaution vers la station qui est restée muette; et le conducteur, après s'être assuré de la cause du silence, signalera par le télégraphe son arrivée et son départ.

« Suivant la règle universellement adoptée sur les chemins à double voie, on donne au convoi qui arrive le signal de continuer sa route sans l'obliger à s'arrêter. Il est très-nécessaire, sur les chemins à simple voie : 1° qu'aucun train ne quitte la station sans avoir reçu un ordre spécial et positif; 2° que l'état de repos de l'indicateur de la station soit regardé comme constatant un danger et nullement comme un signal de sécurité; 3° que par conséquent aucun convoi ne s'avance vers une station sans qu'un signal particulier ait expressément indiqué que tout est prêt pour le recevoir : il n'y aura ainsi aucun danger à redouter, alors même que le gardien, effrayé du péril, aurait perdu la présence d'esprit nécessaire pour donner le signal d'arrêt. Le télégraphe à cadran, muni de chiffres, éclairé pendant la nuit, suffira pleinement à ces indications.

« Avec ces précautions chaque train pourra, si l'on veut, devenir un extra-train; avec cette seule différence que les trains ordinaires se croisent et s'évitent dans des stations fixes et déterminées une fois pour toutes; tandis que pour

les trains extraordinaires, comme pour les trains ordinaires en retard, le croisement et l'évitement ont lieu sur des points fixés dans chaque cas particulier sur la feuille de route. »

Système de M. Regnault. — Dès l'année 1847, M. Regnault, chef de traction au chemin de fer de Saint-Germain, chercha à combiner les appareils télégraphiques d'une manière plus utile qu'on ne l'avait fait jusqu'alors pour la sécurité des chemins de fer. Il y parvint, sinon par des moyens simples, du moins par des moyens qui n'effrayèrent pas alors la compagnie du chemin de fer de Saint-Germain, puisqu'elle jugea à propos d'installer le système proposé.

Je ne chercherai pas à pénétrer les causes qui ont fait approuver dernièrement encore, par certaines compagnies, le système de M. Regnault de préférence à d'autres beaucoup plus simples; car j'aurais peur d'être injuste à force d'être défiant; je ferai seulement remarquer que ce système exige à lui seul cinq fils à la ligne et un grand nombre d'appareils, tout cela pour ne fournir aucuns renseignements automatiques en cas de négligence des employés. Cela dit en passant, examinons le système de M. Regnault.

Le système de M. Regnault a pour but :

1° D'indiquer la marche des trains entre deux stations où sont établies deux voies de garage afin d'éviter, d'une manière certaine, que deux trains marchant en sens inverse puissent jamais s'engager simultanément sur la portion de voie comprise entre ces deux stations.

2° D'établir des communications par des signaux télégraphiques, assez simples pour qu'un cantonnier quelconque puisse les transmettre sans erreur possible entre les stations où sont établis les dépôts des machines de secours et des points échelonnés sur la ligne à des intervalles égaux de quatre kilomètres, afin que si un train vient à être arrêté par un accident quelconque, le chef de ce train se trouve

tout au plus à la distance de deux kilomètres d'un point où il peut faire une demande de secours à la station de dépôt la plus voisine.

Appareils indicateurs de la marche des trains. — Pour indiquer aux stations la marche des trains, M. Regnault établit à chacune d'elles un double appareil à deux aiguilles analogue aux télégraphes anglais, dont les indications une fois transmises doivent être persistantes jusqu'à ce qu'on ait opéré à la station même où elles sont produites, la rupture du circuit. S'il n'y avait jamais qu'un seul convoi à circuler entre deux stations, l'appareil en question pourrait n'avoir qu'une seule aiguille; mais comme il arrive souvent que deux convois s'entre-suivent d'assez près, il est essentiel que la station vers laquelle ils se dirigent en soit prévenue pour qu'on ait le temps de disposer la gare d'évitement ou pour qu'on puisse envoyer le signal d'alarme au second train. C'est précisément pour signaler ce deuxième train que l'appareil a été muni d'une seconde aiguille.

Les aiguilles de l'appareil de M. Regnault fonctionnant sous une influence galvanométrique, on conçoit qu'il est facile de faire correspondre le sens de leur déviation avec la direction de la marche des trains, de telle sorte qu'en considérant l'appareil on peut immédiatement voir dans quel sens marche un convoi signalé. La fig. 5, pl. III, représente cet appareil.

Pour simplifier vraisemblablement la combinaison des circuits, M. Regnault fait fonctionner ses appareils avec des courants continuellement fermés (ce qui par parenthèse est une grande faute, non-seulement au point de vue de la dépense d'entretien de la pile, mais encore du bon fonctionnement des appareils). Ainsi dans l'état de repos, les pôles positifs des deux postes voisins communiquent entre eux par les fils de la ligne tandis que les pôles négatifs sont en communication

avec la terre; il en résulte que les courants qui tendent à s'établir s'annullent et n'agissent pas sur les aiguilles aimantées des appareils indicateurs qui restent alors verticales; mais sitôt qu'une interruption de courant est produite à l'une des deux stations, le courant de l'autre devient actif et sous son influence les aiguilles se trouvent déviées.

Les manipulateurs au moyen desquels on obtient ces déviations persistantes consistent dans deux leviers réagissant sur un commutateur rhéotomique. Ce commutateur se compose de deux électro-aimants M M, M′ M′ (fig. 6, pl. III), dont les armatures A B, A′ B′ forment à la fois relais disjoncteur et conjoncteur au moyen des ressorts *s′s′ r′r′*, qui buttent contre les boutons *b*, *b′*, *x*, *x′* quand ces armatures sont attirées ou repoussées. Ces armatures sont reliées aux leviers manipulateurs L′ L′ par une petite tige *t′ t′* qui permet à ces derniers d'appuyer contre elles quand ils sont poussés de leur côté, mais qui ne les empêche pas de revenir à leur position primitive sous l'influence de forts ressorts à boudin R′ R′. Il résulte de cette disposition que si les électro-aimants M M, M′ M′ sont en rapport avec le sol et qu'une communication métallique soit établie entre leurs armatures et les circuits dans lesquels sont interposés les appareils indicateurs, il se produira pour chaque mouvement imprimé aux leviers L′ L′, 1° une rupture des circuits de la ligne qui isolera la pile de la station qui parle, 2° la formation d'un nouveau circuit dans lequel les électro-aimants du manipulateur seront introduits. Sous l'influence du courant qui traversera ces électro-aimants, les armatures A B′ A′ B′ resteront attirées de telle sorte que le nouveau circuit demeura fermé jusqu'à ce qu'une interruption ait été faite sur ce nouveau circuit. Or cette interruption ne peut être opérée qu'à la station à laquelle on parle. Quand cette interruption a eu lieu, les armatures du manipulateur reviennent à leur position initiale, les électro-aimants M M, M′ M′ ne font

plus partie du circuit par suite de la disjonction des ressorts $r'r'$ et les courants des deux piles circulant de nouveau à travers les appareils indicateurs les ramènent à 0.

Il est inutile de dire que ces manipulateurs sont toujours manœuvrés séparément et qu'ils sont doubles parce que les appareils auxquels ils correspondent sont doubles. Maintenant nous allons voir comment ces appareils doivent être mis en fonction.

Supposons qu'un train de marchandises parte de la station de Rueil pour aller à Paris. Au moment précis du départ l'employé de la station appuiera sur le manipulateur L, et aussitôt la station de Nanterre par son appareil récepteur en sera avertie; car l'une des aiguilles de cet appareil sera déviée vers Paris. Un instant après, un convoi express passe à Rueil en circulant sur la même voie que le train de marchandises; l'employé de Rueil fait jouer le 2e manipulateur : et la 2e aiguille de l'appareil de Nanterre est déviée. Le chef de gare de Nanterre sait donc que deux trains viennent à Nanterre l'un derrière l'autre, et aussitôt que le premier est arrivé il fait jouer le signal d'arrêt pour que le second ne vienne pas rencontrer le premier au moment de son arrêt à la station. Aussitôt que ce dernier sera reparti vers Paris, l'employé de la station appuiera sur l'interrupteur disjoncteur, et l'aiguille de l'appareil indicateur correspondant à ce train reviendra à sa position normale. En même temps l'électro-aimant du levier L de la station de Rueil sera devenu inactif et l'aiguille correspondante de l'appareil de cette même station revenant à sa position normale indiquera au chef de gare que le premier train a dépassé Nanterre. Après une interruption du 2e circuit répétée à Nanterre au moment du départ du 2e train, tous les appareils seront revenus à leur position normale aux deux stations, du moins ceux d'entre eux qui sont en rapport avec la partie du chemin de Rueil à Nanterre.

D'après cette organisation de communications électriques on voit que pour cette catégorie d'appareils chaque station doit avoir :

1° Deux récepteurs à double cadran portant chacun quatre aiguilles aimantées. Chacun de ces récepteurs devant recevoir les signaux du poste voisin du côté duquel il est placé.

2° Deux manipulateurs ayant chacun deux leviers et deux commutateurs rhéotomiques.

3° Quatre interrupteurs disjoncteurs.

Ces appareils fonctionnent par le courant des piles qui servent à la transmission des dépêches; ils forment dans chaque poste deux groupes complétement indépendants, dont chacun est en relation, pour les signaux à transmettre ou à recevoir, avec le poste du côté duquel il est placé.

Appareils de secours. — Les combinaisons électriques pour les demandes de secours exigent l'établissement, sur la ligne, d'un fil particulier et de petits appareils manipulateurs et avertisseurs, appliqués contre les poteaux à des intervalles égaux à 4 kilomètres, à partir de chaque station de dépôt et à chaque poste de dépôt les appareils suivants :

1° Un récepteur à double cadran, dont chacun est spécialement destiné à recevoir les signaux faits sur la ligne du côté où il est placé. Les cadrans sont divisés en parties égales représentant chacune une distance de 4 kilomètres, à partir du dépôt. La division devant laquelle s'arrête l'aiguille, à la réception du signal, indique la distance à laquelle le secours doit être envoyé.

2° Une sonnerie qui se déclanche au premier mouvement de l'aiguille.

3° Un commutateur à deux branches, qui met en relation chaque côté du récepteur avec la sonnerie, et permet d'isoler un des côtés, quand cela est nécessaire.

4° Deux inverseurs qui permettent de changer la direction du courant, pour accuser réception du signal; chaque inverseur est affecté à la partie de la ligne du côté de laquelle il est placé.

5° Une pile supplémentaire qui distribue le courant aux appareils.

Voici comment M. Combes explique la disposition de ces appareils dans son rapport à la Société d'encouragement.

« Le pôle zinc de la pile du poste est en communication avec la terre, le pôle cuivre communique avec le récepteur. Le courant passe dans les électro-aimants de cet appareil et suit, de chaque côté, les fils de la ligne, qui sont mis en communication avec la terre aux points qui divisent en deux parties égales les distances de ce dépôt à ses deux voisins de droite ou de gauche.

« Une pile particulière, ou plutôt un petit nombre d'éléments de la pile principale envoie son courant dans les palettes des électro-aimants. Lorsque le courant qui passe dans ces électro-aimants est interrompu, ces palettes se rapprochent d'un bouton métallique qui transmet le courant à la sonnerie; celle-ci est déclanchée, et continue à sonner jusqu'à ce que le ressort du barillet soit entièrement développé. Le fil de la ligne est interrompu, tous les 4 kilomètres, sur des poteaux, qui portent un manipuleur et un avertisseur. Les deux parties sont prolongées verticalement par deux fils enveloppés de gutta-percha, qui sont reliés respectivement à un bouton métallique du manipulateur et à un bouton semblable de l'avertisseur, lesquels communiquent ensemble, de telle sorte que le courant continu venant de la pile de la station traverse ces deux appareils. L'avertisseur consiste simplement en une aiguille aimantée placée devant un multiplicateur, qui est traversé par le courant. Ainsi, à l'etat normal, ce courant agit constamment sur l'aiguille et la maintient inclinée

dans un certain sens. Si le courant est interverti, elle s'incline en sens contraire ; s'il est interrompu, elle se place verticalement. Le manipulateur consiste simplement en un petit disque métallique pourvu d'une manivelle et sur le contour duquel appuie, pressée par un ressort, une lame métallique qui, dans l'état de repos, transmet le courant à l'appareil avertisseur, et de là à la suite du fil. Sur le contour entier du disque sont incrustées des touches équidistantes de bois ou en ivoire, en nombre égal à celui des intervalles de 4 kilomètres compris entre le poteau auquel est fixé l'appareil et le dépôt le plus voisin, avec lequel la relation existe, par l'intermédiaire du fil de la ligne. Cela posé, si un train est en détresse, le chef du train se rend au poteau le plus rapproché du lieu de l'accident ; il a pour cela 2 kilomètres au plus à parcourir. Sur sa demande, le cantonnier fait décrire une circonférence entière à la manivelle du manipulateur, d'un mouvement assez lent et régulier. Cette manœuvre a pour effet d'interrompre le courant électrique autant de fois qu'il y a de touches en ivoire sur le disque du manipulateur, ou qu'il y a d'intervalles de 4 kilomètres entre le manipulateur et le dépôt le plus voisin. A chaque interruption, l'aiguille indicatrice avance d'une division sur le cadran du récepteur correspondant du dépôt ; elle vient donc s'arrêter devant la division de ce cadran qui indique la distance à laquelle ce secours est demandé. L'effet de la première interruption du courant a été de rendre libre la palette des électro-aimants, qui vient butter sur un bouton métallique relié à la sonnerie, d'où résulte le déclanchement de celle-ci, qui continue de sonner jusqu'à ce que le chef de dépôt vienne arrêter son jeu, en interrompant le courant de la sonnerie à l'aide du commutateur, et ramenant la palette dans la position normale, au moyen d'un levier dont le manche est saillant à la partie inférieure de la boîte. Immédiatement après le

signal reçu, le chef du dépôt renverse le sens du courant qui passe dans le fil de la ligne, au moyen de l'inverseur adapté à son appareil. L'aiguille de l'avertisseur, que le cantonnier a sous les yeux, s'incline en sens inverse, et le cantonnier est ainsi averti que son signal est entendu. Le chef du dépôt ramène en même temps l'aiguille de son récepteur à la croix, en appuyant sur les leviers placés à la partie inférieure de la boîte, et il attend que le cantonnier répète son signal; ce que celui-ci doit toujours faire. »

On voit encore que dans ce système, comme dans le précédent les appareils fonctionnent par interruption du courant, et par conséquent usent en pure perte, en temps ordinaire, le courant d'une pile assez énergique. Il est vrai que par ce moyen on peut s'assurer à chaque instant du bon état des fils de la ligne; mais, au moyen d'un appareil que je décrirai plus tard, cette vérification pourrait être faite aussi sûrement et à meilleur marché.

Il me reste encore à décrire brièvement les appareils que M. Combes ne fait que mentionner dans la note précédente.

Le récepteur destiné à indiquer aux stations de dépôt le point où on demande du secours n'est autre chose qu'un double télégraphe à cadran de M. Breguet, dont le cadran, au lieu de porter des lettres et des chiffres, porte des divisions représentant chacune 4 kilomètres. Les manipulateurs placés aux différents points où l'on peut demander du secours ne sont également autre chose que les manipulateurs des télégraphes Breguet. Seulement ils sont disposés de manière à ne fournir, pour un tour complet accompli par la manivelle, que le nombre d'interruptions en rapport avec celui des séries de 4 kilomètres qui séparent ces points de la station du dépôt.

Cette disposition a été sans doute adoptée pour éviter toute erreur dans la transmission des signaux.

Enfin l'avertisseur est muni de deux timbres contre lesquels vient frapper alternativement l'aiguille indicatrice, suivant qu'elle est déviée dans un sens ou dans l'autre (voir fig. 7, pl. III).

Je ne parlerai pas de la sonnerie d'alarme; c'est encore une sonnerie de M. Breguet, qui est commandée par une détente à ressort, de telle façon qu'une fois mise en mouvement, elle continue à sonner jusqu'à ce que le ressort du barillet soit entièrement déroulé [1].

Comme on le voit, le système de M. Regnault, que le rapport de M. Combes dit être très-simple, est d'une complication effrayante. Il comporte 17 appareils différents, 3 piles et 5 fils conducteurs; et tout cela, comme je le disais, pour être pieds et poings liés, à la merci des cantonniers ou des employés des stations. Il me semble que la triste expérience qu'on a faite, l'année dernière, de l'exactitude de ces messieurs, devrait rendre les compagnies un peu moins confiantes dans la responsabilité dont elles les chargent.

Télégraphe portatif de M. Breguet. — Lorsqu'un accident est arrivé à un convoi, lorsqu'une fuite de vapeur s'est déclarée dans la machine ou que la force lui manque chemin faisant, la chose la plus pressée à faire est de prévenir aux différentes stations, de leur demander ce dont on a besoin pour réparer l'accident, remettre le train en route et avertir les autres trains. M. Breguet, en 1851, a résolu complétement le problème dans son télégraphe portatif.

Ce télégraphe n'est autre que celui dont nous avons parlé comme étant spécialement affecté au service des chemins de fer; seulement il est disposé de manière à être contenu, avec sa pile de 18 éléments de Daniell, dans une boîte de

1. Voir pour les détails le *Bulletin de la Société d'encouragement* des mois d'avril, mai et juin 1855.

47 centimètres de long, sur 37 de haut et 27 de large, pesant 23 kilogrammes. Des boutons, portant les indications *terre — ligne*, sont destinés à être reliés par des fils conducteurs, extensibles avec la terre d'une part, et de l'autre avec le fil de la ligne.

Quand un accident est arrivé, il suffit donc d'établir ces communications pour parler à la fois aux deux stations voisines; car le courant, en se bifurquant en son point d'attache avec la ligne, peut agir en même temps sur les appareils de ces deux stations. La question la plus difficile à résoudre, à cette époque, était d'établir d'une manière sûre et facile la communication avec la terre; mais des expériences faites antérieurement par M. Breguet lui avaient prouvé qu'il suffisait pour cela d'établir une bonne communication entre les rails et la pile. Pour assurer cette communication, M. Breguet avait ajouté à l'un des conducteurs un petit coin en fer, qu'il suffisait d'introduire entre deux tronçons de rails. Quant à la communication avec la ligne, elle s'établissait au moyen d'un crochet métallique à rallonge, qu'on pouvait disposer sans quitter le convoi.

L'invention du télégraphe portatif est certainement une des plus heureuses et des plus pratiques conceptions qu'on ait eues, sinon pour la sécurité, du moins pour le service des chemins de fer. Aujourd'hui, presque tous les convois sont munis de cet appareil précieux; et dans la plupart des systèmes que nous aurons occasion d'étudier par la suite, on verra qu'ils jouent un rôle important; il est seulement à regretter que la bifurcation du courant empêche quelquefois la transmission parfaite des signaux.

Système de M. Tyer de Dalton. — M. Tyer est le premier qui ait cherché à établir une relation électrique entre les stations et les trains en mouvement. Son premier système date de 1851. C'était une belle idée à développer; mais à l'époque où M. Tyer chercha à l'appliquer, il n'avait

en vue que de remplacer les disques à signaux qui précèdent les stations par des signaux électriques, pouvant être reçus *par les convois eux-mêmes* à une distance suffisante de ces stations pour prévenir toute rencontre.

Ce système avait déjà de grands avantages; car les disques à signaux ordinaires, qui sont si difficiles à faire manœuvrer à cause du détirement des fils de traction, et qui reçoivent difficilement leur mouvement, quand le chemin présente des courbures, ont de plus le défaut capital de ne pas être toujours visibles en temps de brouillard. En faisant parvenir ces signaux sur le convoi lui-même, devant les yeux du mécanicien, on évitait tous les inconvénients des signaux mécaniques, et on pouvait de plus, par une réaction électrique très-simple, indiquer à la station l'approche du convoi. Pour obtenir ce double résultat, M. Tyer disposait, 500 ou 1000 mètres avant et après chaque station, quatre interrupteurs conjoncteurs de courant, reliés d'une part avec la pile de la station, et de l'autre avec un appareil enregistreur d'une construction particulière. Ces interrupteurs conjoncteurs consistaient dans des bandes métalliques, de 1^{m} 50 à 2^{m}, placées sur des dés de bois. L'auteur ne s'était pas préoccupé d'un meilleur isolement, en raison de la brièveté du circuit, et parce qu'il n'avait pas pris la terre comme conducteur. Par cette disposition, on obtenait donc deux circuits, l'un qui pouvait servir à transmettre les signaux d'alarme de la station au convoi, l'autre pouvant transmettre des signaux du convoi à la station. Pour mettre les convois en rapport avec ces circuits, M. Tyer adaptait sous la locomotive ou son tender deux frotteurs métalliques (il en désigne de plusieurs sortes dans son brevet), et ces frotteurs étaient tellement disposés, que, quand le convoi venait à passer au-dessus des bandes conjonctrices, ils les touchaient forcément. On comprend d'après cela que, si une liaison métallique dans laquelle

aurait été interposé un appareil à signaux réunissait ces deux frotteurs, un circuit pouvait être complété au moment du passage du convoi sur les interrupteurs, et dès lors l'appareil à signaux pouvait réagir. Tel est le principe du système de M. Tyer, en ce qui concerne la transmission des signaux aux trains en mouvement.

Le complément du deuxième circuit s'obtenait de la même manière; seulement les frotteurs ne jouaient plus que le rôle de simples interrupteurs.

Pensant que des signanx fugitifs n'auraient aucune valeur, d'abord parce que le mécanicien occupé à d'autres soins pourrait ne pas les voir, en second lieu parce qu'il était important à la station qu'on sût toujours quand un convoi circulait dans l'intervalle de 2 ou 4 kilomètres, réservé comme champ de manœuvres en amont et en aval de la station, M. Tyer combina un système de signaux permanents, fondé sur le principe du rhéotome que nous avons décrit, page 292 (Ier vol).

L'appareil récepteur de la station se composait donc de deux électro-aimants, l'un vertical A (fig. 8, pl. III), l'autre horizontal B, dont les fils étaient en rapport, l'un avec l'interrupteur en amont de la station, l'autre avec l'interrupteur en aval de cette même station; sous l'influence du premier interrupteur, l'armature du premier électro-aimant articulé à une bascule CD portant l'aiguille indicatrice, était abaissée; mais en accomplissant ce mouvement, elle repoussait le crochet d'encliquetage E, porté par le deuxième électro-aimant, qui venait ensuite la brider et l'empêchait de se relever sous l'effort de son ressort antagoniste, alors même que le courant se trouvait interrompu.

Il résultait de cette disposition, que l'aiguille CI, qui s'était trouvée pointée vers le signal d'alarme, devait rester dans cette position, et ne pouvait plus se relever que sous l'influence d'une réaction secondaire qui, en repoussant le

crochet d'encliquetage, permît à l'armature de l'électro-aimant A de se relever. C'est à cet effet qu'a dû être placé l'interrupteur d'aval de la station. Effectivement, quand le convoi venait à passer sur cet interrupteur, il pouvait fermer un courant à travers l'électro-aimant B, lequel en attirant le crochet d'encliquetage E, rendait libre l'armature OM, et par suite l'aiguille CI, qui revenait au signal de la voie li re.

Le récepteur de l'appareil aux signaux était plus compliqué, car il devait fournir deux signaux différents, le signal d'arrêt *stop*, et le signal de circulation *allright*. Ces deux signaux étaient fournis par deux électro-aimants réagissant sur deux aiguilles, par l'intermédiaire de deux armatures aimantées. Ces deux électro-aimants, interposés dans le même circuit, pouvaient faire réagir l'une ou l'autre de ces deux aiguilles, suivant le sens du courant, ou plutôt suivant qu'on faisait naître des pôles contraires ou semblables à ceux des armatures correspondantes.

Quand donc on voulait envoyer de la station le signal *stop*, on tournait un commutateur dans le sens voulu, et l'aiguille correspondant à ce signal était déviée sur le convoi, au moment du passage de celui-ci sur l'interrupteur de la voie, et se trouvait maintenue dans sa position par un encliquetage analogue à celui de l'appareil récepteur des stations. Cet encliquetage, par exemple, pouvant être débridé à la main par le mécanicien, aurait pu ne pas être commandé par un électro-aimant; mais M. Tyer a mieux aimé qu'il en fût ainsi pour que les signaux transmis ne pussent être déplacés que par la volonté seule de celui qui les envoyait. Quand on voulait envoyer le signal *allright*, on tournait à la station le commutateur en sens opposé, et aussitôt la seconde aiguille de l'appareil aux signaux était déviée vers le signal *allright*.

Maintenant, voici comment M. Tyer organisait son sys-

tème : Le récepteur de la station portait extérieurement un cadran visible à distance, sur lequel étaient écrits d'un côté les mots *voie ouverte*, de l'autre les mots *voie fermée*. A son état de repos, l'aiguille indicatrice était toujours tournée vers le premier de ces deux signaux ; mais aussitôt qu'un convoi avait dépassé le premier interrupteur placé en amont de la station, l'aiguille se tournait vers le second signal et y restait, par l'effet du mécanisme que nous avons décrit, tout le temps que le convoi circulait entre l'interrupteur d'amont et l'interrupteur d'aval. Quand l'aiguille indiquait que la voie était fermée, le surveillant de la station devait immédiatement tourner son commutateur de manière à envoyer le signal *stop* aux convois qui pourraient s'approcher de la station ; le moment précis où il devait exécuter cette manœuvre lui était indiqué par le tintement d'une sonnerie annexée à l'appareil indicateur, et qui se trouvait mise en action par suite de l'inclinaison de l'aiguille elle-même. Quand, au contraire, l'aiguille de l'indicateur montrait que la voie était libre, le surveillant de la station devait tourner le commutateur en sens opposé pour faire parvenir le signal *allright*. De cette manière, comme on le voit, la rencontre des trains aux stations était rendue impossible.

Le système de M. Tyer est appliqué depuis plus de trois ans en Angleterre, sur le chemin de fer du South-Eastern de Londres à Douvres, où 360 trains passent chaque jour sur un même point de cette voie, et les appareils ont toujours, à ce qu'il paraît, parfaitement marché.

Les avantages que présente le système de M. Tyer, sont, 1° de ne pas employer pour aiguilles indicatrices des aiguilles aimantées dont le magnétisme peut être altéré par diverses causes ; 2° de pouvoir éviter les piles transportées sur les locomotives, et de n'employer que les piles fixes des stations ; 3° de ne faire agir les courants qu'au mo-

ment même où il en est besoin, de sorte qu'il n'y a pas de perte de force et de consommation inutile de zinc et de sulfate de cuivre.

Depuis la prise de ses premiers brevets, M. Tyer a donné plus d'extension à son système et a cherché à utiliser d'une manière plus complète le mode de transmission électrique entre les stations et les trains en mouvement. Ainsi il divise maintenant la voie en un certain nombre de stations, où les signaux peuvent être reçus et d'où partent en même temps d'autres signaux. Ces stations sont plus ou moins nombreuses, plus ou moins rapprochées, suivant l'importance du trafic ou le nombre de locomotives à la fois en mouvement. Leur distance doit être rarement moindre d'un kilomètre. « En les supposant espacées de kilomètre en kilomètre, dit M. Tyer, les convois marchant avec une vitesse de huit lieues à l'heure recevront un signal toutes les deux minutes, ce qui suffit surabondamment pour procurer une sécurité absolue, ou rendre toute collision impossible entre deux trains qui se suivent, à la seule condition que jamais le conducteur du convoi ou le mécanicien ne dépassera une des stations de signaux, s'il n'y reçoit l'avis que le train qui le précède sur la même ligne a passé la station de signal la plus prochaine ou que la voie est libre. »

Dans son nouveau système, les bandes métalliques conjonctrices ont 6 mètres de longueur et sont installées sur des traverses de bois vernies, en communication avec la station et le fil conducteur de la voie par un fil recouvert de gutta-percha. Les frotteurs sont des arcs métalliques convexes en dehors, et qui sont bandés à la manière des ressorts, à une hauteur telle qu'ils ne puissent passer au-dessus des barres métalliques de la voie sans appuyer contre elles, et établir par conséquent un contact métallique sinon sur la totalité, du moins sur une partie de leur longueur.

En résumé voici le dispositif du nouveau système de M. Tyer.

1° Dans les circonstances ordinaires, sur les parties de la voie qui ne sont pas encombrées il suffit de placer en avant de chaque station deux barres conjonctrices, l'une à 2 kilomètres, l'autre à 1 kilomètre de la station, sur lesquelles la locomotive signale son passage et reçoit deux signaux.

2° Là où le nombre des convois est plus grand, la locomotive signale en outre son passage sur les barres à la station en arrière pour avertir qu'on peut laisser partir une seconde locomotive.

3° Si après le passage d'un train il survient quelque accident au convoi, si le chef du poste télégraphique le plus voisin ne le voit pas arriver : à l'aide d'un appareil à deux aiguilles, on signale le danger aux deux stations en avant et en arrière.

4° Sur les points où l'encombrement est plus grand encore, la station n'est plus seulement un poste télégraphique, mais devient une station de signal munie d'un appareil à quatre aiguilles au moyen duquel on règle parfaitement la marche des convois entre la station en avant et la station en arrière, c'est-à-dire sur la portion de la voie comprenant trois stations.

5° Enfin là où l'encombrement est au maximum auprès des grandes gares, la station devient une station sentinelle d'où part, envoyé par un nouvel appareil, le signal de danger ou d'arrêt immédiat par l'introduction de la vapeur dans le sifflet d'alarme ou le retentissement d'un timbre.

Système de M. Bonelli. — Si l'importance des inventions de M. Bonelli est contestable, comme nous le verrons par la suite, il est impossible de ne pas reconnaître à leur auteur un talent tout particulier pour les faire valoir. Jamais découverte scientifique n'a fait plus de bruit que les expériences faites l'automne dernier par ce savant sur le chemin

de fer de Versailles. Tous les journaux de la France et de l'étranger en étaient pleins et elles avaient même les honneurs de leur première page. Il est vrai qu'après les tristes accidents qui étaient survenus sur plusieurs de nos chemins de fer, l'opinion publique émue réclamait à grands cris des moyens de préservation, et M. Bonelli arrivait juste en temps opportun pour faire entrevoir ces moyens, qui n'étaient pourtant pas nouveaux. Il est vrai encore que M. Bonelli était étranger, ce qui était une grande recommandation aux yeux de certains journalistes français. Mais qu'importe?... M. Bonelli s'est trouvé posé en inventeur des moyens de sécurité pour les chemins de fer, et la plupart des personnes peu au courant de la question le considerent encore comme tel, bien qu'il soit l'un des derniers inscrits sur la liste des inventeurs qui se sont occupés de ce problème.

Le principe du système de M. Bonelli est exactement le même que celui du système précédent. Comme dans ce dernier le courant transmis à une barre de fer isolée au milieu de la voie se trouve reçu par le convoi en mouvement par l'intermédiaire d'un frotteur mobile. Seulement cette barre de fer au lieu de n'avoir que 6 mètres de longueur et d'être répétée plusieurs fois entre les stations, est continue d'un bout de la voie à l'autre, ce qui permet d'établir une relation métallique continue non-seulement entre les stations et les trains en mouvement mais encore entre les trains eux-mêmes. Cette relation métallique étant une fois établie, une correspondance complète peut en être la conséquence, et, à l'aide de cette correspondance, la position respective des trains peut toujours être constatée d'un convoi à l'autre.

L'idée de la bande continue n'est certainement pas nouvelle, et pour mon compte personnel j'y avais longtemps pensé avant d'avoir combiné mon système. Il est probable que MM. Tyer, de Castro, Meigrot et tant d'autres y auront également pensé; mais cette idée ne pouvait être maintenue

après un examen mûri de la question, tant à cause des frais considérables que devait entraîner l'installation d'une pareille bande, que de la difficulté de son isolement et des embarras qu'elle devait créer pour la réparation de la voie. M. Bonelli en mettant son système à exécution était donc plus hardi que ses devanciers, et c'est là le secret de sa réussite momentanée; car, je dois le dire, ses premiers essais avaient parfaitement réussi :

Audaces Fortuna juvat.

Malheureusement l'expérience ne tarda pas à démontrer que ce système était presque impossible dans la pratique. En effet, au bout d'un mois d'essais la bande continue établie entre Argenteuil et Saint-Cloud avait été brisée cinq fois par suite du soulèvement des traverses d'appui des rails lors de la réparation de la voie, des dérivations du courant s'étaient établies de tous côtés; enfin cette bande, étant devenue un véritable embarras pour le service du chemin de fer, a dû être mise de côté. Quelques mots maintenant sur la disposition de ce système.

La bande de fer installée entre Argenteuil et Saint-Cloud n'avait guère que 3 centimètres au plus de largeur et 1 centimètre d'épaisseur; elle était portée et fixée de deux en deux mètres environ sur des champignons en porcelaine placés à l'extrémité supérieure de petits poteaux en bois d'environ 35 centimètres de hauteur. Ces champignons formant parapluie comme les cloches de suspension des fils télégraphiques dont nous avons parlé dans notre premier volume, l'isolement de la bande était aussi parfait que possible dans les conditions où s'était placé M. Bonelli (voir fig. 9, pl. III).

Le frotteur appuyant sur cette bande était une grande tringle horizontale munie de quatre ressorts arqués qu'on

pouvait élever ou abaisser de l'intérieur du wagon télégraphique au moyen de leviers articulés. Ce frotteur était d'ailleurs relié métalliquement au télégraphe de manière à pouvoir conduire le courant venant des autres trains ou des stations et le courant qui devait être transmis.

La transmission par le sol était opérée par le seul contact de l'une des roues du wagon avec le rail. En cela encore, M. Bonelli avait été plus hardi que M. Breguet, qui, au moment de l'organisation de son télégraphe portatif avait rejeté ce système de transmission comme n'étant pas suffisamment sûr.

Dans le système de M. Bonelli, chaque convoi et chaque station devait avoir les appareils suivants :

1° Une pile de Daniell d'une vingtaine d'éléments.

2° Un télégraphe à aiguille aimantée de Wheatstone [1] avec son manipulateur et un système de relais propre à la transmission simultanée de deux dépêches en sens contraire.

3° Un frotteur et ses accessoires.

4° Un système d'alarme soit sonnerie, soit sifflet vaporo-électrique.

La transmission des signaux dans ce système se faisait exactement de la même manière qu'à travers une ligne télégraphique ordinaire; seulement le courant pouvait être plus ou moins bifurqué suivant le nombre de convois en circulation sur la voie, et suivant la proximité des stations. Mais de ces courants dérivés, un seul ou deux, tout au plus, suivant M. Bonelli, pouvait être efficace pour la marche des appareils; c'était celui qui correspondait au poste télégraphique le plus rapproché, et par conséquent au convoi avec

1. M. Bonelli a dû avoir recours à ce télégraphe à cause des trépidations des convois, qui dérangeaient tous les autres télégraphes. Encore fallait-il que les écarts de l'aiguille fussent plus grands que dans les télégraphes anglais ordinaires.

lequel on avait le plus d'intérêt à entrer en correspondance. Pour connaître la position réciproque de deux trains sur la ligne, il suffisait donc d'envoyer de l'un de ces trains, par le télégraphe, la demande, *où êtes-vous?* Le convoi le plus rapproché recevant cette demande, répondait par le lieu où il se trouvait et alors on pouvait juger par la distance réciproque des deux points occupés par les deux trains au moment de la correspondance de leur situation mutuelle.

Maintenant ce mode de transmission des courants est-il parfaitement sûr? Il est permis d'en douter, car avec les différentes bifurcations dont nous venons de parler, il doit nécessairement arriver quelquefois, qu'une demande adressée à un convoi qui sera en avant ou en arrière de celui qui transmet, soit reçue par une station voisine; il suffira pour cela que celle-ci se trouve la plus rapprochée de ce dernier convoi; d'un autre côté, si le courant envoyé trouve dans les circuits dérivés qu'il rencontrera une résistance à peu près égale à vaincre, ce qui suppose deux convois et une station placés à égale distance du convoi qui transmet, ce courant se divisera et ne pourra plus faire marcher aucun appareil; enfin, si deux convois veulent parler en même temps, il arrivera que les courants se neutraliseront plus ou moins, car en raison de la variation continuelle des résistances des circuits, les moyens nouveaux qu'on a imaginés pour transmettre simultanément des dépêches en sens contraire ne seront plus efficaces. Ainsi, en dehors des déperditions qui doivent résulter infailliblement du mauvais isolement de la ligne, il y a trois causes de perturbation dans la transmission des dépêches qui peuvent se reproduire fréquemment.

D'un autre côté, pour la manœuvre d'un télégraphe aussi difficile à interpréter que le télégraphe galvanométrique de Wheatstone, il faut nécessairement des employés spéciaux. Ce ne sont certes pas les mécaniciens qui pourraient s'oc-

cuper de ce service; car, outre qu'il leur faudrait une instruction particulière, d'autres préoccupations doivent les occuper pendant le trajet du convoi. Il faudra donc autant d'employés télégraphistes que de convois et que de stations. Or, en admettant même que les compagnies pussent faire ce sacrifice, la question n'en serait pas pour cela bien résolue, car la sécurité du convoi dépendrait toujours de la vigilance de l'employé préposé à la manœuvre du télégraphe. Pour peu qu'il néglige le soin d'interroger les convois en avant et en arrière, une rencontre peut s'effectuer sans qu'aucun signal d'alarme n'ait été envoyé.

D'ailleurs il faut un temps appréciable pour l'échange d'une correspondance; et pendant ce temps, si l'employé télégraphiste s'y est pris trop tard, les deux convois peuvent se trouver tellement rapprochés, qu'il devient impossible de les arrêter. Que gagnerait-on donc pour la sécurité des chemins de fer à cette correspondance? Les signaux : *arrêtez, contiuez votre chemin,* qui, dans le système de M. Tyer et le mien, arrivent en temps opportun, n'en disent-ils pas assez? N'aura-t-on pas le temps, au moment de l'arrêt devant les stations, d'échanger un plus long entretien? En résumé, ce système nous paraît offrir peu d'avantages, mais présenter beaucoup d'inconvénients.

Système de M. Gay. — Ce système n'est qu'une copie compliquée du système Bonelli. Voulant éviter les inconvénients que nous avons signalés précédemment d'un personnel spécial pour le service des télégraphes des convois, M. Gay dispose les appareils récepteurs de manière à exprimer, par certains signaux simples et facilement visibles, celles des phrases qui sont les plus nécessaires pour la sécurité des convois.

Ces récepteurs sont des appareils à cadran partagés en deux grands segments, l'un pour le service des trains montants, l'autre pour les trains descendants et divisés en com-

partiments annulaires et en secteurs, renfermant les signes conventionnels et les phrases toutes faites, au moyen desquels les conducteurs de trains peuvent converser ensemble ou avec les stations, par le simple jeu d'aiguilles indicatrices.

Les aiguilles de ces cadrans sont au nombre de trois. Les deux premières, en relation avec deux conducteurs continus, placés latéralement à la voie, servent, l'une à transmettre les signes conventionnels, l'autre à les recevoir. La troisième aiguille sert à indiquer, à chaque instant, sur un limbe annulaire du cadran, la position précise du train sur la ligne; elle est mise en mouvement par un mécanisme compliqué que l'auteur a désigné sous le nom de *compteur*, et dont il a cherché à faire dépendre directement et avec le plus de précision possible le mouvement de celui même du train qu'il est chargé de représenter. Cette troisième aiguille est spéciale aux appareils des trains; le limbe sur lequel se lisent les indications fait connaître non-seulement la situation kilométrique du train, mais sa position relativement aux stations, aux ouvrages d'art, tranchées, courbes, etc. Ce limbe, en raison de sa destination, n'a qu'une durée très-limitée de service dans chaque voyage, et doit être enlevé et remplacé par un autre tous les 25 kilomètres.

L'auteur a placé cet appareil dans un *cabinet d'observation*, situé à l'arrière du tender, avec une sonnerie d'alarme.

Le même appareil (sauf l'aiguille du compteur spécial à chaque train) est placé à toutes les stations et à tous les postes qui doivent entrer en correspondance avec les trains.

Le compteur dont nous venons de parler devait d'abord recevoir son mouvement mécanique de celui de l'essieu du tender. L'auteur avait cru pouvoir supposer que les roues

de ce tender se développeraient régulièrement sur les rails, sans patinage, sans glissement et sans déplacements brusques, et il avait basé sur cette régularité toute fictive celle du mouvement de sa troisième aiguille, qui n'en devait être qu'une réduction très-exacte. Forcé bientôt d'abandonner cette supposition, il prend maintenant sur la ligne même que parcourt le train le principe du mouvement de son compteur, au moyen de taquets placés en des points fixés à des distances égales de 50 mètres, et qui agissent par percussion sur la roue à échappement de l'appareil auquel il donne désormais le nom de *compteur à percussion*.

Il place ces taquets sur les isolateurs de ses fils conducteurs, et il est bientôt amené encore à transformer ces fils eux-mêmes en deux petites lignes de rails, pour permettre d'introduire plus de solidité dans le système, et par suite plus de régularité dans le jeu des taquets.

Pour peu qu'on réfléchisse à la manière compliquée dont doivent fonctionner les divers appareils de ce système, on ne tarde pas à reconnaître qu'il est encore moins pratique que celui de M. Bonelli.

SYSTÈMES CONTRÔLEURS.

Système de M. Mauss. — Le système de M. Mauss, ingénieur belge, date de l'année 1845; il se trouve mentionné, mais sans détails, dans les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* du 11 août 1845. D'après ce système, dès l'instant où un convoi donné passerait devant une station déterminée, on saurait le temps qu'il aurait mis à franchir un espace connu, et l'on pourrait prévenir ainsi, par une inspection présente à tous les moments, les marches à grande vitesse qui compromettent la sûreté des voyageurs.

Système de M. Steinheil. — Le but que s'était proposé

M. Steinheil, dans le système qu'il imagina peu de temps après le système précédent, était de faire connaître :

1° Le moment du départ de chaque train;

2° La vitesse des trains en chaque point de leur parcours;

3° La durée des stations;

4° La présence à leur poste de chacun des gardiens;

5° La durée du trajet total.

Il voulait en outre que le conducteur chef du train pût, des cabanes des gardiens, correspondre avec la station la plus voisine pour demander du secours, le cas échéant.

Pour résoudre ce quintuple problème, M. Steinheil n'employait qu'un fil conducteur, un appareil électro-magnétique placé aux stations finales, deux séries d'interrupteurs ou de bascules disjonctrices, disposées dans les guérites des gardiens et aux différentes stations, enfin deux batteries voltaïques placées aux stations finales.

L'appareil électro-magnétique se composait essentiellement d'un chronographe à pointage électrique, c'est-à-dire d'un cadran horizontal mû par un mouvement d'horlogerie et sur lequel était placée une feuille de papier. Le limbe de cette feuille de papier était divisé de minute en minute, et cette division, imprimée en lithographie, était disposée de manière à correspondre au mouvement de l'horloge.

Au dos de l'horloge du chronographe était fixé un électro-aimant dont les deux pôles, dirigés en dessus et un peu plus haut que le cadran, avaient pour armature une pièce de fer portant, dans son prolongement, sur le cadran, un bec à réservoir, dans lequel était versée de l'encre noire préparée à l'huile. Ce bec, pour chaque répulsion de l'armature, pouvait laisser un point noir sur le disque de papier, et la position de ce point par rapport à la division du disque pouvait indiquer le moment exact où l'électro-aimant avait été mis en action; la longueur du trait im-

primé pouvait donner la mesure du temps qu'avait duré cette action. Comme complément télégraphique de ce chronographe à pointage, M. Steinheil avait ajouté un timbre contre lequel un marteau, porté par l'armature de l'électro-aimant, venait frapper à chaque pointage du bec à encre.

Avec cette disposition, il est facile de comprendre comment M. Steinheil pouvait résoudre les problèmes que nous avons énoncés. En effet, supposons qu'au départ de chaque train d'une station le gardien touche l'interrupteur ou la bascule qui s'y trouve placé ; le chronographe de la station extrême, vers laquelle il se dirige, enregistrera immédiatement cet instant. Dès que ce train passera devant les 2e, 3e, 4e, etc., gardes-lignes, ceux-ci, pressant à leur tour les interrupteurs placés dans leur guérite, de nouveaux points seront tracés par le chronographe, et la distance réciproque de ces points par rapport aux divisions du disque de papier indiqueront le temps que les différents convois ont mis à venir d'un garde à l'autre. Comme on connaît la distance qui existe entre ces gardes, on connaît par cela même la vitesse du train. De plus, si le signal de l'un des gardes-lignes vient à manquer, ce sera la preuve qu'il n'était pas à son poste. Maintenant, quand le train arrive à une station, le chef de gare tourne son interrupteur et ne le relève qu'au moment du départ du train : il se forme alors sur le papier du chronographe un trait qui embrasse autant de minutes que la durée de la station elle-même ; on a donc, aux stations extrêmes, un tableau exact de la marche des différents trains. C'est pour obtenir la dernière indication dont nous venons de parler, que M. Steinheil a préféré agir sur l'appareil électro-magnétique, au moyen d'interrupteurs disjoncteurs ; ce qui nécessite une fermeture constante du courant, pendant tout le temps que l'appareil ne fonctionne pas.

Avec le système de M. Steinheil, s'il arrivait un accident au train, ce qui s'annoncerait déjà aux deux stations extrêmes par l'absence des signaux des gardiens, le chef de gare de la prochaine station pourrait, au moyen de son interrupteur, en prévenir les stations finales par des signaux convenus d'avance et qui seraient produits par le timbre. En effet, le timbre des chronographes de M. Steinheil est tellement disposé que, si on abaisse et on relève vivement l'interrupteur, le son produit par le timbre est aigu; au contraire l'interruption lente du courant provoque un son grave de la part de ce timbre. Ces deux signaux différents que l'oreille distingue parfaitement, suivant M. Steinheil peuvent être groupés et former un alphabet. Pour que le conducteur des trains, à son tour, puisse entrer en correspondance avec les stations extrêmes, M. Steinheil lui donne un électro-aimant portatif muni d'un marteau et d'un timbre; il lui suffit alors d'interposer cet appareil dans le circuit de la ligne, à la guérite de gardien la plus proche; il parle alors au moyen de l'interrupteur placé dans cette guérite, et il reçoit la réponse au moyen de son timbre.

Quelque ingénieux que soit le système de M. Steinheil, il présentait plusieurs défauts qui ont dû en empêcher l'établissement définitif. D'abord, les appareils télégraphiques dans lesquels le courant est fermé à l'état normal sont d'une dépense d'entretien assez considérable et susceptibles de dérangement, en raison des oxydations qui se forment aux points de contact des interrupteurs. En second lieu, un système télégraphique aussi délicat demande une très-grande habitude et un très-grand exercice, que l'on ne peut pas exiger de tous les conducteurs des trains et des employés des stations. Mais il est une difficulté plus grande encore à vaincre : elle consiste en ce que ceux qui doivent surveiller ces appareils sont précisément soumis par lui à un contrôle sévère; d'où il suit qu'ils ont peu d'intérêt à

faire tous leurs efforts pour assurer sa marche régulière.

Système de M. Breguet. — Pensant que si on pouvait s'affranchir de l'intervention humaine dans la marche de l'appareil précédent, on pourrait obtenir un système télégraphique réellement utile pour le contrôle de la marche des convois, M. Breguet, en 1847, eut l'idée de faire réagir sur les interrupteurs les convois eux-mêmes. Ses expériences furent faites sur la partie du chemin de Saint-Germain-en-Laye parcourue par le tube atmosphérique, et avec cette disposition du chemin, rien ne lui fut plus facile que de réaliser le but qu'il s'était proposé. Il lui suffisait en effet de se servir du piston propulseur des convois sur cette partie du chemin de fer pour faire appliquer, de vingt en vingt mètres, l'une contre l'autre deux lames en rapport, l'une avec le sol, l'autre avec une dérivation faite sur la ligne correspondant à son chronographe à pointage. De cette manière, le passage du convoi au-dessus de chaque interrupteur était accusé sur le chronographe, sans aucune intervention humaine. Nous décrirons plus tard, à l'article des chronographes, celui dont M. Breguet s'est servi dans cette circonstance. Cette invention de M. Breguet a été le point de départ de la plupart des systèmes qui ont été proposés dernièrement. Voici les quelques mots qui ont été imprimés dans les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* du 15 mars 1847 :

« M. Arago a présenté, de la part de M. Breguet, et fait fonctionner sous les yeux de l'Académie un instrument à l'aide duquel les chefs de gare d'arrivée et de départ, dans les chemins de fer, pourront être avertis instantanément du moment du passage des trains devant chacun des poteaux kilométriques de la ligne, et pourront connaître très-exactement la vitesse avec laquelle les divers intervalles auront été parcourus. »

Système de M. Maigrot. — En novembre 1852, M. Mai-

grot, géomètre à Bar-sur-Seine, complétant l'idée première de M. Breguet, eut l'idée de faire enregistrer sur un cadran compteur, à chaque station, les différents kilomètres parcourus par les convois; et pour qu'on pût distinguer dans quel sens venaient ces convois, deux aiguilles marchant en sens contraire l'une de l'autre et de couleur différente, furent adaptées au cadran. De cette manière, on pouvait suivre à chaque station le mouvement d'un train, et savoir s'il ne parcourait pas la voie dans un sens anormal. De plus chaque mouvement de l'une ou de l'autre des deux aiguilles était accompagné d'une fermeture de courant, qui, en réagissant sur un timbre, pouvait indiquer à l'oreille, sans l'examen du cadran, les différents kilomètres parcourus par les convois.

Un avantage que présentait ce système était de permettre aux conducteurs des trains express à grande vitesse, d'apprécier exactement à leur passage devant chaque station, le point de la ligne où se trouvait le convoi qui les précédait, quand la distance séparant les deux convois était moindre que l'intervalle de deux stations consécutives. Dès lors le mécanicien pouvait calculer en conséquence la vitesse à donner au convoi. En revanche, ce système présentait un grand inconvénient auquel j'ai obvié dans celui que j'imaginai quelques mois plus tard, en mai 1853[1]. On comprendra immédiatement cet inconvénient dès lors qu'on examinera que deux convois circulant simultanément entre deux stations dans un même sens, l'aiguille du cadran-compteur pouvait être affectée par les deux convois à la fois et se trouvait dès lors dans l'impossibilité de constater leur marche. Ce même inconvénient se retrouve dans le système que M. Vérité avait proposé en janvier 1854, et qui était exactement semblable à celui de M. Maigrot, sauf

1. A cette époque je n'avais pas eu connaissance du système de M. Maigrot et je ne m'étais inspiré que de l'idée de M. Breguet.

que le cadran-compteur n'avait qu'une aiguille au lieu de deux. Nous verrons bientôt comment j'ai résolu cette difficulté dans mon système.

Un an après la prise de son premier brevet, M. Maigrot s'imagina d'ajouter à ses appareils un système télégraphique analogue à celui que M. Tyer avait inventé longtemps avant lui pour envoyer des signaux aux convois en mouvement. Ce système ne différant guère de celui que j'ai employé dans mon moniteur électrique, je ne ferai que le mentionner ici pour l'historique de la question, aussi bien que le chronographe à pointage que M. Maigrot a également cru devoir ajouter à son système primitif, et qui n'est que la copie exacte de ceux de MM. Steinheil et Breguet. Enfin, comme accessoire de son système le même inventeur a imaginé un système de freins qu'il appelle vaporo-électriques, dans lesquels la vapeur est la puissance motrice et l'électricité la cause déterminante. Cette dernière partie du système de M. Maigrot est tout à fait irréalisable.

Dans le système de M. Maigrot les touches métalliques placées sur la voie pour la transmission des courants, sont de simples cylindres de fer ou de cuivre isolés convenablement, et les frotteurs consistent dans une longue tige métallique à trois articulations, disposée horizontalement au-dessous du wagon transmetteur et pressée dans son milieu par un ressort afin que son contact avec les tiges rigides soit plus parfait. Cette disposition est peut-être plus économique que celle des interrupteurs du même genre dont nous avons parlé jusqu'ici.

Système de M. Bellemare. — Le système que M. Bellemare a récemment présenté à l'Institut (février 1856), a exactement le même but que les systèmes que nous venons de passer en revue. Seulement, les interrupteurs kilométriques qui doivent faire enregistrer aux stations les différents points de la voie successivement parcourus par les

convois ont une disposition particulière. Ces interrupteurs consistent dans une boîte de fonte à l'intérieur de laquelle sont placés dans une seconde boîte de porcelaine les deux conjoncteurs. Au-dessus de la boîte de fonte se trouve un trou taraudé dans lequel se meut une vis à balancier, et cette vis se termine par une petite tige qui traverse la boîte de porcelaine et se trouve à portée de l'un des deux ressorts conjoncteurs. Une forte lame de ressort contre laquelle vient appuyer le balancier de la vis quand il est poussé par une cause quelconque, ramène toujours cette vis dans sa position initiale. Ce système d'interrupteur peut être employé indifféremment comme conjoncteur ou disjoncteur; dans le premier cas les deux ressorts sont séparés l'un de l'autre, et la tige de la vis en appuyant sur l'un d'eux quand la vis est détournée établit un contact qui cesse aussitôt que le ressort a éloigné le balancier de cette vis. Dans le second cas, les deux ressorts doivent être en contact à l'état normal; alors la tige de la vis en s'abaissant les sépare l'un de l'autre. (Voir la fig. 10, pl. III.)

Les avantages de ce système d'interrupteur sont :

1° De permettre un isolement beaucoup plus parfait;

2° De fournir un contact parfaitement sûr et assez prolongé pour que l'action électro-mécanique qu'ils sont appelés à déterminer ait le temps de se faire;

3° De pouvoir être manœuvré facilement par les cantonniers, si on les emploie à transmettre des signaux de détresse.

C'est par l'intermédiaire d'un taquet porté par la locomotive que les trains réagissent sur ces interrupteurs. En effet, au moment de leur passage, ce taquet rencontrant le balancier de la vis le repousse avec force contre son ressort d'arrêt; l'interrupteur par ce seul fait est mis en action, et une fois l'effet produit, le ressort d'arrêt ramène le balancier à sa position normale.

SYSTÈMES AUTOMATIQUES PAR AVERTISSEMENT.

Les systèmes que nous avons jusqu'à présent étudiés permettent de donner des avis aux trains en mouvement, de signaler les différents points de la voie où se trouvent les convois; enfin de permettre un échange de correspondance entre les convois eux-mêmes. Mais tous ces systèmes exigent pour être mis en fonction l'intervention d'employés ou de gardiens, dont la négligence peut compromettre la sécurité des voyageurs. Pour être à l'abri de cette négligence et de ce défaut de vigilance que bien souvent on a eu à déplorer, il fallait que les trains pussent par un mécanisme automatique se prévenir *eux-mêmes* de leur trop grand rapprochement, des obstacles qu'ils pouvaient rencontrer aux stations, enfin de leur marche anormale. Car c'est toujours à ces causes qu'il faut rapporter la plupart des accidents qui arrivent. Plusieurs systèmes ont été proposés dans ce but et ce sont eux qui vont maintenant nous occuper.

Système de M. Th. Du Moncel. — Mes premières recherches sur cette question remontent au mois de mai 1853, époque à laquelle je publiai dans le journal de l'arrondissement de Valognes un article sur les moniteurs électriques des chemins de fer. Toutefois mon système n'a été complété d'une manière définitive qu'en janvier 1854. Quelques mois plus tard j'en fis construire un modèle de grande dimension qui a fonctionné devant l'Académie des sciences en décembre 1854, et pendant toute la durée de l'Exposition universelle de 1855.

Ce système a pour but :

1° D'établir, entre les stations et les trains en mouvement, une liaison télégraphique qui permette de prévenir ces derniers des encombrements qui peuvent exister sur la voie, ou aux stations, de leur donner des ordres en cas de

besoin, et de leur fournir la facilité de demander des secours aux stations en cas d'accident;

2° De faire en sorte que l'envoi d'un signal soit suivi d'une réponse faite automatiquement par le convoi, afin que celui qui envoie le signal soit prévenu de sa réception et soit assuré, par là, du bon état de la ligne;

3° de faire enregistrer à chaque station, sur un compteur électro-chronométrique à double aiguille et visible à distance, les différents kilomètres parcourus par deux convois consécutifs;

4° De faire en sorte que deux convois, venant à la rencontre l'un de l'autre ou s'entresuivant de trop près, se préviennent mutuellement des dangers qui pourraient résulter de leur trop grand rapprochement:

5° De faire en sorte que le chef de la station soit en même temps prévenu de ce trop grand rapprochement.

Tous ces résultats peuvent être obtenus à l'aide d'un seul fil pour chaque voie, ajouté à celui de la ligne déjà existant, et de deux interrupteurs placés de kilomètre en kilomètre entre les deux voies. Les piles des télégraphes des stations et des télégraphes portatifs des convois pouvant être employées pour le jeu des appareils du moniteur électrique, ne sont pas une dépense qu'il faille imputer au système.

Organisation des conducteurs le long de la voie. — De kilomètre en kilomètre, comme je le disais, je place entre les deux rails deux interrupteurs de courant. Ce sont deux barres de fer ou de fonte revêtues d'une semelle de zinc de 2 mètres de longueur, et qui sont contournées en leur point d'attache, comme on le voit fig. 8, pl. IV, de manière à ce qu'un capuchon de cuir ou de gutta-percha qui recouvre ces points d'attache, les maintienne toujours isolés du sol. On comprend en effet qu'avec cette disposition la pluie tombant sur la traverse AB et sur les capuchons se réunit dans

les inflexions C qui forment gouttières et ne mouille pas les pieds E de la bande métallique, qui sont d'ailleurs scellés au souffre dans leur support. Ces supports sont des cubes de bois de chêne imprégnés d'huile, et se trouvent fixés soit sur les traverses qui supportent les rails, soit en terre entre ces traverses. Deux fils recouverts de gutta-percha, partant de ces interrupteurs, vont s'attacher en passant sous terre et en remontant le long du poteau le plus voisin, l'un au fil de la ligne télégraphique, l'autre au fil additionnel. Par cette combinaison on obtient trois circuits, deux avec l'intermédiaire du sol et un avec les deux fils pris ensemble. Celui-ci est réservé au service du télégraphe des stations.

La disposition de ces interrupteurs sur la voie est indiquée fig. 6.

Conjoncteurs des convois. — Pour mettre les convois en rapport avec les circuits dont je viens d'indiquer la disposition, j'ai employé des frotteurs à piston analogues à ceux que j'ai décrits, page 252, 1er volume ; ils sont représentés (fig. 4), et sont au nombre de trois : un pour une des séries d'interrupteurs que nous désignerons par A, un autre pour la seconde série d'interrupteurs que nous désignerons par B, enfin le troisième pour compléter le circuit à travers le sol. A cet effet, ce dernier frotteur appuie constamment sur l'un des rails. Ces frotteurs à piston sont vissés chacun dans une boîte à écrou fixée sur le plancher du tender de la locomotive, un peu en avant des caisses à eau; ils peuvent par conséquent, au moyen des tourniquets dont ils sont surmontés être abaissés plus ou moins et même être élevés au-dessus des interrupteurs. De cette manière on peut régler leur force de frottement et empêcher leur usure quand ils ne doivent pas servir.

Appareil à signaux. — L'appareil à signaux et la sonnerie d'alarme qui sont destinés à indiquer au machiniste, s'il doit s'arrêter ou continuer sa route, sont placés au fond du

tender qui est surmonté à cet effet d'une espèce d'abri, comme le montre la figure 4. L'appareil à signaux est en A, la sonnerie en B, et l'on voit en C le télégraphe portatif de M. Breguet que nous avons précédemment décrit. Il se trouve de plus un bouton interrupteur I dont nous verrons à l'instant l'objet. Pour peu qu'on étudie attentivement la manière dont les liaisons électriques sont établies sur la figure, on reconnaîtra que l'appareil à signaux se trouve mis en rapport d'un côté avec le circuit partant de la station, et qui est complété par les frotteurs X et Z; d'un autre côté avec un circuit passant par la sonnerie B et l'interrupteur I, lequel est parcouru par un courant provenant de la pile du télégraphe portatif C dont les pôles sont en P et Q. Nous verrons à l'instant l'utilité de ce deuxième circuit.

Le mécanisme de l'appareil aux signaux est représenté fig. 7. Il ne possède comme on le voit aucuns rouages, aucuns systèmes de déclanchement que les trépidations causées par le mouvement de la voiture pourraient aisément faire fonctionner inopinément. Une simple bascule aimantée AB portant d'un côté deux disques de verre rouge et blanc E et D, et oscillant entre les pôles d'un électro-aimant M M : tel est avec un système rhéotomique, représenté par les huit ressorts *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, tout ce qui constitue ce mécanisme. Pour en comprendre le jeu, il suffit de se rappeler qu'une bascule aimantée placée entre les pôles d'un électro-aimant peut-être inclinée à gauche ou à droite suivant le sens du courant, et peut même être maintenue dans la dernière position qu'elle a prise après que le courant a cessé d'agir, comme nous l'avons fait remarquer page 230 (1er volume). Quand la bascule incline à gauche, le disque rouge C apparaît dans un guichet G, fig. 4, ménagé en place convenable sur la boîte renfermant l'instrument. Quand au contraire la bascule incline à droite, c'est le disque blanc D

qui apparaît. Si donc on donne au signal rouge l'interprétation, *arrêtez, il y a danger*, et au signal blanc, celle de : *continuez votre route, la voie est libre;* il suffira, à la station qui veut envoyer l'un ou l'autre de ces signaux, de tourner dans un sens ou dans l'autre un commutateur à renversement de pôles, mis en rapport avec le circuit du frotteur X. Les disques qui fournissent ces signaux rouges et blancs sont en verre, afin qu'étant éclairés par derrière ils puissent être visibles dans l'obscurité.

Le système rhéotomique représenté par les huit ressorts, *e, f, g, h, i, k, l, m*, est destiné à prolonger l'action du courant qui a fait dévier la bascule, en introduisant l'appareil dans le circuit de la pile locale du convoi et de la sonnerie électrique. Cette condition est essentielle, car un signal fugitif pourrait échapper aux regards du mécanicien occupé à d'autres soins, et resterait sans valeur; il en est de même du jeu de la sonnerie, qui doit persister jusqu'à ce qu'on soit venu l'arrêter. Voici comment ce système rhéotomique fonctionnera : quand la bascule AB est inclinée, comme on le voit, fig. 7, les quatre ressorts *e, f, l, m*, sont mis en contact; le courant de la pile du convoi entrant par le bouton E, entre dans l'électro-aimant M M par le fil E, *t, f*, les deux ressorts *e, f*, et le fil *e, o, p*; il en ressort par le fil *q, r, m*, les deux ressorts *m, l*, le fil *l, s*, F. De là, il regagne la sonnerie électrique B en traversant l'interrupteur disjoncteur I, fig. 4, et revient à la pile en P. L'action du courant entrant par les boutons G, H (fig. 7), est donc bien maintenue, et en même temps la sonnerie est mise en mouvement; tant que l'interrupteur disjoncteur I n'est pas touché, le signal persiste dans le guichet et la sonnerie fonctionne, mais aussitôt que le mécanicien appuie le doigt sur cet interrupteur, le circuit de la pile locale est coupé, la bascule aimantée est ramenée suivant la verticale par le contre-poids fourni par les deux disques de verre, et la sonnerie se tait. Alors

l'appareil peut être de nouveau influencé par le courant envoyé des stations.

Dans l'exécution de ce système d'appareils à signaux, plusieurs précautions doivent être prises : Il faut d'abord que l'arc parcouru par la bascule soit assez considérable, pour que les petites oscillations dues au mouvement de la voiture ne réagissent pas sur l'appareil rhéotomique, en second lieu, il faut que l'action de la bascule sur les lames très-flexibles du rhéotome, ait lieu au maximum de l'attraction, c'est-à-dire très-près des pôles de l'électro-aimant M M. Enfin, il faut, pour éviter les trépidations de la voiture, que l'appareil aussi bien que la sonnerie soient suspendus par l'intermédiaire d'une suspension *Cardan* à double articulation. En raison de ces nécessités de construction, j'ai pensé qu'il était nécessaire d'envelopper le système du barreau aimanté et de l'électro-aimant dans un cadre galvanométrique, comme je l'ai indiqué (page 229, 1er vol.). De cette manière le galvanomètre exerce au maximum son action sur le barreau aimanté, alors que l'électro-aimant est à son minimum de puissance; ce qui permet un bien plus grand écart dans les oscillations du barreau aimanté. Avec cette disposition, les disques C et D doivent être supportés par une deuxième aiguille de cuivre montée parallèlement et sur le même axe que le barreau lui-même. Dans la fig. 7, ce cadre galvanométrique est indiqué en R, S, T, U.

Commutateur de l'appareil aux signaux. — Ce commutateur qui doit réaliser en même temps la seconde partie du problème que je me suis proposé dans mon moniteur électrique, est représenté fig. 3. C'est le commutateur de Ruhmkorff, décrit page 265, 1er vol, auquel j'ai dû ajouter un interrupteur et un galvanomètre A. Nous verrons plus tard l'usage de cet interrupteur; quant au galvanomètre, c'est lui qui indique que le signal envoyé à un train est parvenu à destination. Bien entendu, cet appareil est placé à chaque

station. Pour en comprendre le jeu, supposons que les boutons d'attache *a* et *b* soient mis en rapport avec les pôles de la pile de la station, *a* avec le pôle positif, et *b* avec le pôle négatif. Quand on tournera le commutateur à gauche, le courant ira de *a* en *c* par le commutateur, de *c* en *d* sur la ligne télégraphique par un fil de jonction *cd*, de là, il regagnera les différents interrupteurs par les poteaux *e* et les fils de gutta-percha *ef* (fig. 6). Si le convoi, au moment où l'on a tourné le commutateur, se trouve entre deux interrupteurs, le courant ne circulera pas, et le galvanomètre A du commutateur ne bougera pas; mais quand le convo aura passé sur le prochain interrupteur, le circuit sera complété et le galvanomètre A indiquera que le signal envoyé a été reçu. En effet, de l'interrupteur *f*, fig. 6, le courant remontera à l'appareil d'alarme par le frotteur X, fig. 4, et passera de là, en terre, par le frotteur Z. Le bouton *h*, fig. 3 du commutateur étant en rapport avec le sol, par la plaque *g*, le courant arrivera en *h* après avoir quitté le convoi, traversera le galvanomètre A, arrivera en *i*, puis en *j*, par la liaison *ij*, et enfin en *b* par le commutateur. On voit donc qu'ainsi, la transmission du signal et l'avis de sa réception se trouvent effectués en même temps. Mais il faut pour cela que celui qui transmet les signaux reste à son poste, jusqu'à ce que l'aiguille soit déviée, ce qui ne doit jamais dépasser deux minutes. Si ce temps se trouvait dépassé sans signal, on serait prévenu par là, que le fil de la ligne serait brisé ou que les communications électriques avec les appareils des convois seraient endommagées. Au moyen du contrôleur annexé à mon système, on pourrait même savoir en quel point de la ligne aurait eu lieu la rupture du fil.

L'interrupteur annexé au commutateur que nous venons de décrire se compose de quatre lames métalliques légèrement convexes, appliquées des deux côtés du cylindre

d'ivoire du commutateur lui-même. Ces lames, que l'on voit de profil sur la figure, sont disposées perpendiculairement à celles du commutateur, c'est-à-dire qu'elles touchent leurs frotteurs *k*, *l*, *m*, *o* (fig. 3), quand les lames *c* et *j* ne touchent rien. De plus elles sont jointes deux à deux, (celles d'un même côté) par une liaison métallique. Quand on n'a pas d'ordre à transmettre, il faut que le commutateur soit disposé comme sur la figure 3, de manière que l'interrupteur soit en conjonction.

Appareil contrôleur. — Cet appareil, qui est en rapport avec le circuit fermé par le frotteur Y des convois et les interrupteurs de la série B de la voie, est représenté fig. 1. Il est destiné, comme les appareils que nous avons désignés précédemment sous ce nom, à enregistrer aux différentes stations les différents points de la voie successivement parcourus par les convois.

Nous avons démontré que des contrôleurs à une seule aiguille ne pouvaient suffire, puisque par leur intermédiaire seul, quand deux trains circulent ensemble entre deux stations, les indications se trouvent forcément mêlées. Le problème à résoudre pour faire de cet appareil un instrument véritablement pratique était donc : 1° de faire en sorte que les indications fussent différentes, au moins pour deux trains consécutifs; 2° que le conducteur et les interrupteurs appelés à réagir sur les aiguilles, fournissant ces deux indications différentes, ne fussent pas en plus grand nombre.

C'est ce double problème que j'ai réalisé dans l'appareil représenté fig. 1 et 5.

Extérieurement cet appareil ne présente qu'un grand cadran de 60 centimètres, sur lequel se meuvent deux aiguilles convenablement équilibrées. Ce cadran est divisé en autant de divisions qu'il y a de kilomètres entre les deux stations auxquels il correspond; par conséquent il doit y en avoir deux pour chaque station, un en rapport

avec la station de droite, l'autre en rapport avec la station de gauche. Chaque aiguille est mise en mouvement par un mécanisme d'horlogerie, commandé lui-même au moyen d'un échappement à chevilles par un électro-aimant, et pour que ces aiguilles puissent tourner ensemble sur le même cadran, l'axe de l'une passe dans l'axe de l'autre, comme les aiguilles d'une horloge ordinaire; seulement l'axe creux doit être disposé de telle façon qu'il soit isolé métalliquement de l'axe plein. Ces deux axes se distinguent aisément sur la figure en AB, CD. Les roues d'échappement EF, GH, montées sur ces deux axes, portent autant de chevilles que le cadran a de divisions. Il en résulte que chaque double mouvement de l'armature de l'électro-aimant a pour effet de faire avancer d'une division du cadran l'une ou l'autre des deux aiguilles, à chaque fermeture de courant. Enfin les deux électro-aimants sont reliés à un relais à armatures aimantées représenté fig. 2, et dont nous avons expliqué le fonctionnement page 285 (Ier vol.). Cet intermédiaire est dans ce cas indispensable, d'abord parce que les aiguilles du cadran devant être d'une grande longueur pour être vues à distance par les conducteurs des trains, la force électrique à distance n'aurait pas été suffisante pour les faire marcher; en second lieu, parce que les distances variant continuellement, le jeu de l'appareil n'aurait jamais pu être réglé convenablement. Les communications électriques étant établies, comme on le voit sur les figures 1, 2 et 6, entre le contrôleur, son relais et le fil supplémentaire de la ligne, voici ce qui arrive :

Au moment où le convoi passera sur chaque interrupteur de la série A, les frotteurs Y et Z (fig. 4) transmettront un courant provenant de la pile du télégraphe portatif C (fig. 4). Ce courant ira du frotteur Z en terre par les rails, reviendra par la plaque *g* dans les bobines du relais, et ira de là dans le fil supplémentaire de la ligne par

le fil [illegible] descendra ensuite par le poteau correspondant à l'interrupteur touché, et reviendra à la pile par le fil [illegible] (fig. [illegible]) l'interrupteur [illegible] et le frotteur Y, mis en rapport avec [illegible] (fig. [illegible]). Si les bobines du relais sont enroulées de manière que ce soit l'armature OV (fig. 2) qui soit attirée, le courant de la pile de la station sera fermé à travers l'électro-aimant M du contrôleur, car le pôle positif de cette pile étant en rapport avec l'armature OV, le courant se trouve complété dans le circuit S OV = I MJR; alors c'est l'aiguille du dessous qui avance d'une division. Si, au contraire, c'est l'armature OV (fig. 2) qui est attirée, c'est l'électro-aimant M qui fonctionne et l'aiguille de dessus qui avance.

On comprend, d'après cela, que pour faire avancer l'une ou l'autre de ces deux aiguilles, il suffit de relier convenablement les frotteurs Y et Z, fig. 3, aux pôles P et Q de la pile portative des convois. Par conséquent, si les convois pairs envoient leur courant, de manière que ce soit l'armature OV du relais qui soit en action, chaque kilomètre qu'ils parcourront sera accusé par l'avancement successif de l'aiguille correspondant à l'électro-aimant M; et pour que les convois impairs fassent avancer l'autre aiguille, il suffira de renverser le mode de liaison des frotteurs Y et Z avec leur pile, de manière qu'ils envoient un courant de sens contraire.

Il arrive souvent que les chemins de fer se bifurquent et forment des têtes de ligne qui sont justement les parties du chemin les plus exposées aux rencontres, et, par conséquent, celles pour lesquelles les appareils précédents seraient le plus utiles.

Or, les différents convois qui viennent à entrer dans cette partie du chemin ne peuvent savoir dans quel sens doit circuler le courant de leur pile pour réagir convenablement sur les moniteurs électriques des stations qu'ils vont désormais rencontrer en continuant leur route.

Sans doute il existe en ces points de bifurcation une station et, par conséquent, un moniteur électrique dont les aiguilles pourraient indiquer, par leur position respective et leur marche, le sens du courant dans le dernier convoi qui a passé. Mais c'est un travail d'esprit qu'il est important d'éviter, et une précaution qu'on pourrait souvent négliger de prendre. J'ai donc cherché à fournir une indication plus simple, et voici comment je m'y suis pris :

A chacune des stations qui précèdent les points de bifurcation du chemin, ou qui sont susceptibles d'expédier elles-mêmes des convois particuliers, j'adapte un petit appareil tout à fait semblable aux appareils à signaux dont il a été question précédemment, moins le rhéotome.

Cet appareil est en rapport avec un interrupteur particulier, qui doit rencontrer les frotteurs des convois, et, par conséquent, se trouve traversé par leur courant local. Comme l'effet magnétique est persistant dans ces appareils, la bascule aimantée qui porte les signaux reste inclinée du côté où l'a fait dévier le dernier passage du courant. Elle peut donc, par le signal qu'elle transmet, indiquer le sens du courant du dernier convoi qui a passé, et le mécanicien, à l'aide d'un commutateur à renversement de pôles, dirige alors le courant de la pile locale du convoi dans le sens convenable.

Par un mécanisme particulier qu'il est facile d'imaginer, on pourrait faire en sorte que ce redressement du courant s'effectuât automatiquement; mais il est plus simple d'avoir recours à un simple commutateur à renversement de pôles, comme nous venons de l'indiquer.

Arrivons maintenant à la quatrième partie du problème, c'est-à-dire aux avertissements automatiques fournis par les convois entre eux, qui est la plus importante de toutes.

Moniteur automatique. — Dans le cas qui, du reste, est le plus fréquent où les deux convois s'entre-suivent de trop

près, l'avertissement est excessivement facile, puisque par l'intermédiaire des compteurs on possède, dans un même appareil, deux organes mécaniques en rapport avec les vitesses différentes des deux trains. Ces organes mécaniques sont les aiguilles des compteurs qui, si elles sont suffisamment isolées, peuvent opérer entre elles un contact métallique ayant pour effet de fermer le courant de la station à travers les appareils aux signaux des convois.

Supposons donc qu'on ait jugé que 2 kilomètres soient une distance suffisante pour qu'on ait le temps d'arrêter deux convois, il faudra que quand les aiguilles du compteur seront à 2 divisions l'une de l'autre, un contact métallique ait lieu. Pour cela, il faudra que l'une des aiguilles porte un butoir d'argent T (fig. 1) éloigné de l'axe de l'aiguille d'un sixième de la circonférence passant par ce butoir, et que l'autre aiguille soit armée d'une lame de ressort L V placée perpendiculairement suivant sa ligne axiale. De cette manière, les aiguilles remplissent la fonction d'un employé qui, s'étant aperçu, par l'inspection du compteur, du trop grand rapprochement des trains, tourne le commutateur de l'appareil aux signaux pour envoyer le signal d'alarme.

Nous avons indiqué, page 252 (Ier vol.), la manière dont fonctionne ce genre d'interrupteur, qui joue dans cet appareil un rôle si important; nous allons voir maintenant comment il peut réagir sur l'appareil aux signaux des convois.

Supposons qu'une communication métallique soit établie entre le coussinet A, sur lequel tourne l'axe AB (fig. 1) et le bouton *o* (fig. 3) du commutateur de la station, et qu'un autre fil relie le coussinet de l'axe C D (fig. 1) avec le bouton *i* (fig. 3) de ce même commutateur. Quand le ressort L V (fig. 1) viendra à rencontrer le butoir T, le courant de la station circulera de la manière suivante : de S, il ira

en *a* (fig. 3), puis en *l*, par le fil *al*, puis en *k*, par l'interrupteur du commutateur, puis en *c*, par la liaison *kc*, et de là en *d*, sur la ligne télégraphique; il suivra le même parcours que quand le commutateur a été tourné, et revenant en *j*, il suivra le fil de jonction du bouton *j* avec l'axe CD, pour retourner au commutateur par le butoir T, le ressort LV, le coussinet A et le bouton *o*; de là, il passera à travers l'autre partie de l'interrupteur du commutateur, pour revenir en *m*, et de là en R (fig. 1). C'est pour éviter le mélange des circuits, et les dérivations par les piles, que l'interrupteur du commutateur a dû être introduit dans le circuit du moniteur automatique.

Dans le cas où les convois viennent à la rencontre l'un de l'autre, ce qui ne peut guère arriver que sur les chemins à une voie, le problème est un peu plus complexe, et pour qu'on puisse se rendre compte de sa solution, il est important qu'on se rappelle que chaque station a deux contrôleurs électriques, l'un pour les convois qui se dirigent en amont, l'autre pour ceux qui se dirigent en aval. Que le chemin ait deux voies ou une seule voie, ces deux appareils sont indispensables.

Cela posé, concevons qu'au centre de la cloison servant de séparation aux deux contrôleurs se trouve une petite rondelle d'ivoire NP (fig. 1), incrustée sur sa circonférence d'autant de plaques d'argent qu'il y a de divisions tracées sur le cadran; admettons que ces plaques soient en parfaite correspondance avec ces divisions, et soient réunies d'un cadran à l'autre par des fils métalliques disposés de façon que la plaque n° 12, je suppose, du cadran d'amont corresponde à celle n° 10 du cadran d'aval, il arrivera, si des frotteurs à piston N et O fixés sur les axes de rotation des aiguilles de chaque cadran, appuient sur ces plaques, qu'un courant électrique pourra être fermé entre les deux compteurs, lorsque ces frotteurs toucheront en même

temps celles des plaques qui seront en correspondance métallique, c'est-à-dire lorsque les deux convois seront à deux kilomètres l'un de l'autre. Cette fermeture du courant pourra donc réagir comme précédemment et envoyer le signal d'alarme aux convois.

Quant à la dernière partie du problème, c'est-à-dire aux avertissements donnés aux chefs des stations, elle trouve sa solution dans l'interposition d'une sonnerie électrique dans une dérivation du courant allant aux appareils à signaux des convois. Mais cette question n'a, du reste, d'importance que pour assurer la transmission du signal, en cas d'accident survenu au fil de la ligne.

Système de M. Manuel Fernandez de Castro. — Le système de M. Manuel Fernandez de Castro a été breveté en Angleterre et en France, en octobre 1853. Il avait été combiné, dans l'origine, pour fonctionner sous l'influence des courants statiques de l'appareil de Ruhmkorff; mais M. de Castro ne tarda pas à reconnaître que l'emploi de l'électricité dynamique était préférable. Du reste, comme aucune fonction électro-mécanique n'est en jeu dans ce système, il peut comporter aussi bien l'emploi de l'électricité statique que de l'électricité dynamique.

La base de ce système est la fermeture automatique d'un courant électrique en temps opportun, lorsque deux convois sont menacés d'une collision. Pour l'obtenir, M. de Castro n'emploie qu'une combinaison de circuits interrompus, qui ne peuvent être complétés que par les convois eux-mêmes, dans une position déterminée.

A cet effet, un conducteur que l'auteur appelle *conducteur général* est disposé, non plus au milieu de la voie, comme celui de M. Bonelli, mais sur le côté. Il est constitué par deux fils métalliques placés parallèlement l'un à côté de l'autre, et interrompus de distance en distance, de telle manière que les olutions de continuité se trouvent

alternées dans les deux fils. Ces fils sont isolés soit au moyen de supports de porcelaine ou de terre, comme dans le système Bonelli, soit en les couchant sur un lit de gutta-percha ou de caoutchouc durci fixé sur une bande de bois, soit par tout autre moyen qui permette à la partie supérieure du fil d'être entièrement dégagée de tout obstacle au passage d'un frotteur. La longueur de chaque tronçon doit être calculée d'après la formule

$$L = 2v + a$$

L étant la longueur de chaque fil; v le double de la distance qu'un train peut parcourir après que la locomotive ne reçoit plus de mouvement de la machine, et que les freins sont serrés; a la distance minimum qui est jugée nécessaire entre deux convois supposés arrêtés pour parer aux éventualités qui peuvent survenir (voir fig. 11, pl. III).

Le circuit, comme dans tous les systèmes que nous avons précédemment étudiés, est complété par l'un des rails de la voie ferrée.

Les frotteurs destinés à établir une communication métallique entre le conducteur général et les appareils d'alarme placés sur les convois ont été combinés de plusieurs manières par M. de Castro. Tantôt c'est un pinceau ou une frange de fils métalliques suspendu à l'extrémité d'une tige isolée avec des supports de porcelaine; tantôt c'est une tringle métallique portée par deux forts ressorts bandés et renfermés dans des tubes métalliques; tantôt c'est une tringle traînante. Quels que soient du reste ces frotteurs, ils se trouvent toujours disposés de manière à pouvoir être soulevés ou abaissés, au moyen d'un levier, et même être retirés de côté pour pouvoir réagir, dans le cas où le conducteur général par une circonstance forcée, telle que le passage d'un tunnel, d'un pont, serait obligé d'être établi au milieu de la voie.

La fig. 12, pl. III, peut donner une idée de la disposition du système de M. de Castro. *i i* sont les deux séries de fils interrompus placés sur un support isolant, *r r f g* représente le frotteur, E est le support des deux conducteurs généraux pour les deux voies, D D sont les traverses soutenant les rails.

Les organes générateurs de l'électricité soit piles, soit machines d'induction, sont portés par les convois; chaque convoi a son générateur; mais il faut, pour une cause que nous signalerons à l'instant, que ces générateurs soient en rapport avec le circuit d'une manière inverse, pour les trains qui vont en amont et en aval, et que leur courant soit, ou alternativement renversé au moyen d'un commutateur, ou d'une intensité différente. C'est par l'intermédiaire d'un relais que l'appareil d'alarme est mis en fonction, et celui-ci d'ailleurs peut être un timbre, un pétard, un pistolet de Volta, ou un appareil électro-magnétique réagissant sur le sifflet de la locomotive.

Avec cette disposition du système de M. de Castro, il est facile de comprendre comment les trains peuvent se trouver prévenus des dangers qui pourraient résulter de leur trop grand rapprochement, soit en venant à la rencontre l'un de l'autre, soit en s'entre-suivant de trop près. Supposons, en effet, le dernier cas : il arrivera forcément que les deux trains se trouveront alors circuler sur un même tronçon de fil appartenant soit à la série de gauche, soit à la série de droite du conducteur général; dès lors les deux courants circuleront à travers les relais des deux convois; il est vrai qu'ils marcheront dans ce cas en sens contraire l'un de l'autre; mais comme ils ont une intensité différente ou qu'ils se trouveront alternativement renversés d'une manière non concordante, car ce sont les roues des locomotives elles-mêmes qui feront marcher le commutateur, il s'ensuivra que les relais fonctionneront sous l'influence

d'un courant différentiel ou d'un courant alternatif. Supposons maintenant qu'ils viennent à la rencontre l'un de l'autre, le même effet se reproduira, mais d'une manière plus énergique, car alors les deux courants s'ajouteront.

J'avoue que je ne comprends pas le motif si puissant qui a obligé M. de Castro à employer des piles d'intensité différente ou des commutateurs à renversements alternatifs des courants, dont le bon fonctionnement est plus que contestable. Il aurait pu tout simplement n'employer qu'une seule des piles portées par les convois, et alors l'action électrique aurait été toute simple, toute naturelle, le courant aurait traversé les deux appareils à la fois, et les frotteurs du convoi dont la pile aurait été inactive, n'auraient servi qu'à compléter le circuit. Pour qu'un train fût averti s'il devait mettre sa pile en communication ou non avec le circuit, il aurait suffi d'un simple indicateur électro-magnétique qu'on aurait placé aux stations et sur lequel aurait réagi chaque convoi en passant devant elles.

Le signalement d'un obstacle sur la voie s'obtiendrait dans le système de M. de Castro, en mettant en communication avec le sol les deux tronçons du conducteur général les plus voisins de cet obstacle, ce qui serait fait par l'un des gardes-voie. Cette communication compléterait le circuit à travers les appareils d'alarme du convoi qui serait en marche au moment où celui-ci atteindrait le tronçon non isolé. Le même moyen pourrait même être employé pour établir entre le garde-train et le mécanicien une liaison télégraphique au moyen de laquelle le premier pourrait donner au second le signal d'arrêt. Dans ce cas, il suffirait d'un second frotteur qui serait mis à la disposition du garde-train et qui serait en communication métallique avec l'un des essieux du dernier wagon.

Aux points de croisement de deux lignes différentes il devient essentiel, dans le système de M. de Castro, de don-

ner aux fils du conducteur général une disposition particulière pour que les signaux d'alarme soient aussi bien échangés entre les convois qui doivent croiser, qu'entre ceux qui doivent suivre la même voie. Il suffit du reste qu'un des fils du conducteur général d'une voie soit mis en communication avec un des fils de l'autre, et que le croisement s'effectue au milieu des deux tronçons ainsi joints. C'est-à-dire que la longueur de chaque tronçon depuis ce point de croisement soit $\frac{2v + a}{2}$.

La disposition par tronçons des conducteurs le long de la voie, permet d'avertir le conducteur d'un train qui s'approche d'une barrière ou d'un pont tournant dont la manœuvre n'a pas été faite, qu'il y a danger, et en même temps de donner spontanément l'avertissement de l'approche du train au garde-barrière ou au préposé au service du pont tournant. Il suffit pour cela, que ces barrières ou ces ponts tournants, établissent lorsqu'elles sont ouvertes un contact métallique entre le sol et le conducteur général; ce qui est très-facile, puisque le contact de deux ressorts poussés l'un contre l'autre peut produire ce résultat. Une barrière ouverte ou un pont tournant ouvert joue donc vis-à-vis du convoi en marche le rôle que jouerait un second convoi, et si une sonnerie d'alarme se trouve installée dans la guérite du garde-barrière, celui-ci se trouve alors prévenu qu'il doit la fermer au plus tôt. De même, l'interruption du courant aussitôt après la fermeture de la barrière, indique au mécanicien que désormais la voie est libre.

M. de Castro indique encore dans son mémoire plusieurs dispositions imaginées en vue de parer aux dangers que pourrait amener, soit une erreur ou un oubli de l'aiguilleur dans le jeu des aiguilles aux points de bifurcation des voies ferrées, soit la circulation simultanée de deux convois sous un même tunnel à une voie.

Dans le premier cas, l'auteur adapte au levier qui commande le jeu des aiguilles une longue fourchette réagissant sur un commutateur conjoncteur et disjoncteur, qui a pour objet : 1° de continuer la relation électrique entre la partie du chemin située avant le point de bifurcation, et celle de ces bifurcations que le convoi doit suivre; 2° de déterminer une communication avec le sol dans le cas où le jeu des aiguilles étant mal exécuté, la partie mobile des aiguilles ne serait pas exactement dans la direction des rails des bifurcations, ce qui pourrait être une cause de déraillement. Ce cas, il est vrai, ne pourrait se présenter qu'aux points de croisement de trois bifurcations, cas qui est très-rare aujourd'hui. Nous ne décrirons pas ce commutateur, car il est facile à deviner; il n'est d'ailleurs que très-accessoire dans le système de M. de Castro.

Quand un tunnel construit pour une seule voie doit servir à l'exploitation d'un chemin à deux voies, ce qui nécessite par conséquent deux systèmes d'aiguilles de croisement à ses deux extrémités, il devient indispensable d'avoir un système électrique particulier qui puisse empêcher la circulation simultanée de deux trains sous ce tunnel.

Pour résoudre ce problème, M. de Castro propose de faire réagir les convois avant leur entrée sous le tunnel sur une pédale mise en relation électrique avec un électro-aimant relais qui, en ce moment, établirait une communication entre le conducteur-général de son système et le sol. L'auteur n'indique pas, il est vrai, comment se prolonge l'action de cet électro-aimant relais pour que le signal soit persistant pendant toute la durée du passage du convoi sous le tunnel. Mais il est facile de comprendre qu'avec un système rhéotomique analogue à celui que nous avons décrit page 290 (1er vol.), le but serait complétement atteint.

Dans le cas où une locomotive partirait seule et marcherait sans guide, M. de Castro prétend qu'il serait possible

de la faire arrêter automatiquement; soit en employant en guise d'appareil d'alarme un appareil détonant tel que le mortier électrique, dont le bouchon, en réagissant sur un levier, pourrait désencliqueter une roue, laquelle roue, sous l'action d'un contre-poids, empêcherait à son tour l'introduction de la vapeur; soit en faisant réagir la vapeur sur les freins par l'effet de l'ouverture d'une soupape; soit par des électro-aimants puissants disposés dans le circuit formé par le relais des appareils d'alarme; soit par tout autre moyen.

Nous aurons occasion de parler plus tard des freins électriques; mais je dois constater ici que dès le premier moment de son invention M. de Castro avait imaginé plusieurs systèmes à l'aide desquels ces freins pouvaient être serrés automatiquement, par leur substitution aux appareils d'alarme sur les trains. Mais M. de Castro lui-même déclare que ceux de M. Achard étant préférables, il n'a pas donné suite à son idée.

Le système de M. de Castro a été expérimenté en grand en Espagne, et il paraît que les résultats en ont été satisfaisants, puisque les cortez espagnols lui ont voté des remercîments publics. Toutefois ce système n'est pas exempt d'objections, comme nous le verrons dans la discussion que nous entreprendrons, à la fin de ce chapitre, sur la possibilité pratique des différents systèmes qui ont été proposés.

Système du capitaine Guyard. — Le système du capitaine Guyard, imaginé en juillet 1854, par conséquent huit mois après celui de M. de Castro, est *identiquement* semblable à ce dernier. Il est réellement curieux de voir un rapprochement aussi complet d'idées entre deux personnes n'appartenant pas au même pays et dont l'absence complète de rapports ne peut faire supposer une inspiration de l'un ou de l'autre. Pourtant il est quelques points de priorité à cet égard que nous nous permettrons de discuter. San

nul doute c'est bien à M. de Castro que revient la priorité du système de relation électrique entre les trains, tel que nous l'avons précédemment exposé. Mais est-ce bien lui qui a eu la première idée d'appliquer au générateur d'électricité le commutateur mobile? est-ce bien lui qui a démontré le parti qu'on pouvait tirer de la disposition de ce système pour le signalement de l'ouverture des barrières des ponts tournants, etc.? Si je me reporte aux premiers articles qui ont été publiés sur le système de M. de Castro, je ne vois pas qu'il soit fait mention de ces dispositions, accessoires, il est vrai, mais qui sont pourtant ingénieuses. Au contraire, je vois que dès le premier moment où M. Guyard a publié son invention il signale toutes ces dispositions et plusieurs autres encore dont nous allons parler. Je ne prétends pas par là ôter du mérite à l'un et à l'autre de ces deux messieurs, mais il arrive souvent qu'on perfectionne un système qu'on a imaginé en prenant ailleurs des accessoires que l'on trouve bons, et l'on n'en est pas moins pour cela l'inventeur du système.

Voici, du reste, comment le rapport de la commission d'enquête sur les chemins de fer établie au ministère des travaux publics rend compte du système du capitaine Guyard :

« L'auteur s'est posé le programme suivant : 1° faire en sorte que, lorsque deux trains marchent à la rencontre l'un de l'autre sur un chemin de fer à simple voie, chacun d'eux soit spontanément averti de l'approche de l'autre à une distance à peu près double de celle qui est nécessaire pour arrêter un train et prévenir un choc.

« 2° Avertir le conducteur d'un train qui s'approche d'une barrière ou d'un pont tournant dont la manœuvre n'a pas été faite, qu'il y a danger; faire en même temps donner spontanément l'avertissement de l'approche du train au garde barrière ou au préposé au pont tournant;

enfin, quand le danger a disparu, informer spontanément le conducteur du train qu'il peut reprendre sa marche.

« 3° De donner à tout employé de la voie ou des trains un moyen de transmettre instantanément au conducteur d'un train qui s'avance l'annonce d'une cause quelconque de danger, telle que rupture de rail, éboulement, et lui faire connaître même spontanément la nature de ce danger.

« 4° Faire enfin qu'une surveillance spontanée s'exerce incessamment sur toute la ligne, et que toutes les fautes des agents ayant pu compromettre la sûreté des trains se trouvent enregistrées d'elles-mêmes.

« La base du système du capitaine Guyard consiste à diviser, au moyen de conducteurs métalliques, la ligne que doivent parcourir les trains en tronçons très-courts isolés les uns des autres d'une longueur égale au double de celle qui est nécessaire pour arrêter deux convois lancés à toute vitesse à la rencontre l'un de l'autre, et à mettre les appareils électriques placés sur les trains en communication permanente avec ces conducteurs métalliques, pour ouvrir des circuits électriques qu'une cause quelconque de danger n'aura plus qu'à fermer pour se faire immédiatement connaître.

« Les conducteurs métalliques sont doubles et établis parallèlement aux rails, de telle sorte que les interruptions de chacun d'eux ayant lieu de quatre en quatre kilomètres, par exemple, soient alternatives, c'est-à-dire que la coupure du conducteur de droite se trouve correspondre exactement à la partie médiane du conducteur de gauche placé en regard et vice versa. C'est là la condition indispensable à l'application du système.

« L'auteur a proposé deux systèmes de conducteurs entre lesquels l'expérience en grand aurait à déterminer la préférence.

« Le premier consisterait dans l'emploi de fils métal-

liques tendus parallèlement à la voie, soit au niveau des rails, soit à la hauteur du toit des wagons, supportés par des isolateurs de porcelaine et recevant le contact d'un pinceau, ou plutôt d'une brosse métallique en communication avec les appareils électriques du train.

« Le second, qui dès aujourd'hui lui paraît préférable, emploierait pour conducteur un ruban métallique placé dans un plan vertical, à l'intérieur de la voie, un peu au-dessus du niveau des rails, lequel serait saisi et en quelque sorte laminé entre deux brosses cylindriques en fil d'acier, à axe vertical, recevant de l'essieu du wagon un mouvement de rotation sur elles-mêmes, calculé de manière à produire le développement de la surface des brosses sur le ruban avec le moins de frottement possible.

« Ces moyens sont évidemment plus compliqués et probablement moins efficaces et moins admissibles dans la pratique que ceux présentés dans les projets de M. le chevalier Bonelli et de M. Du Moncel.

« Les appareils électriques portés par le wagon spécial de chaque train consisteraient en une pile en action, une sonnerie d'alarme et un télégraphe alphabétique; l'auteur y ajouterait, enfin, comme nous le verrons plus loin, un appareil spécial auquel il donne le nom de distributeur.

« L'un des pôles de la pile placée sur chaque convoi serait mis en communication avec le conducteur métallique correspondant, par l'intermédiaire du fil des électro-aimants de la sonnerie et du télégraphe ; l'autre pôle serait en communication avec la terre, par les roues et les rails; il y aurait d'ailleurs interversion dans les pôles de la pile en communication avec le conducteur, suivant le sens dans lequel s'avancerait le train : à cette condition, tant qu'un train cheminerait seul sur un tronçon électrique, le circuit serait ouvert et il ne recevrait aucun avertissement; mais dès que deux trains viendraient à cheminer sur le même

tronçon, le circuit électrique serait subitement fermé, les sonneries d'alarme entreraient par conséquent en jeu, les mécaniciens seraient prévenus du danger, et les chefs de train pourraient entrer en communication par leurs télégraphes.

« Dans ce système, les barrières de passage à niveau sont disposées de telle sorte que lorsqu'elles sont ouvertes elles établissent un contact métallique entre le sol et les conducteurs isolés de l'appareil de la voie; ce contact cesse au contraire dès qu'on vient à les fermer. Une barrière ouverte joue donc, vis-à-vis d'un convoi en marche, le rôle que jouerait un second convoi, et la sonnerie d'alarme y est mise immédiatement en mouvement. Une sonnerie pareille, attenant à la guérite du garde-barrière, avertit celui-ci de l'approche du train et le rappelle à l'ordre. De même, l'interruption du courant, aussitôt après la fermeture de la barrière, indique au mécanicien que désormais la voie est libre.

« Une disposition identique s'applique aux ponts tournants.

« De même, un cantonnier, en cas de rupture de rail ou de tout autre accident fortuit de la voie, n'a qu'à établir, à l'aide d'un coin de fer et d'une chaînette, une communication du conducteur avec les rails, pour fermer le circuit électrique de tout train arrivant sur le même tronçon, et prévenir ainsi ce train à distance qu'il existe une cause d'arrêt.

« Un aiguilleur peut de même rectifier une fausse direction qu'il aurait laissé prendre à un train.

« L'auteur indique, enfin, qu'en adjoignant aux appareils placés sur la machine un marqueur chronométrique, dont le crayon donnerait une trace chaque fois que le courant aurait fonctionné, on aurait un moyen de contrôler exactement le nombre et le lieu des accidents auxquels le train aurait été exposé pendant la durée du trajet.

« Le système que nous venons d'analyser exige, comme nous l'avons vu plus haut, pour que deux trains engagés sur un même tronçon électrique puissent former entre eux le circuit et s'avertir mutuellement de leur présence, que les deux courants prenant naissance dans les piles des deux trains ne soient pas de sens à se neutraliser.

« Pour réaliser en toute sûreté cette condition, et faire en sorte que les trains puissent indifféremment se prévenir de leur rapprochement, soit qu'ils se suivent, soit qu'ils viennent à la rencontre l'un de l'autre, M. Guyard a imaginé de placer sur chaque train un ingénieux appareil, dont nous avons prononcé plus haut le nom, qu'il appelle un *distributeur*.

« L'emploi de ce distributeur est d'inverser à intervalles réguliers et très-courts, par le jeu d'une excentrique mise en mouvement par un mécanisme d'horlogerie, et agissant sur un système de leviers auxquels elle communique un mouvement de va-et-vient, le sens du courant de la pile sur chaque train. Il en résultera donc désormais que, quel que soit le sens initial du courant de la pile d'un convoi lancé sur la voie, deux trains ne pourront pas se rapprocher sans s'influencer, à une distance moindre que celle que permettra de franchir la période d'action des distributeurs, qu'on peut régler à quelques secondes, et rendre, par conséquent, toujours utile.

« Cet instrument présente, il est vrai, le désavantage d'introduire ici un mouvement d'horlogerie, sujet par conséquent à dérangements, mais qui n'aurait d'inconvénient grave que dans le cas extrêmement peu probable où les distributeurs de deux convois en présence viendraient à s'arrêter simultanément.

« Au reste, l'objection capitale à faire à ce système et à tous ceux du même genre est plutôt dans les perturbations qu'éprouverait bien plus fréquemment le système élec-

trique, et dont le moindre inconvénient serait de donner à un train des signaux d'alarme par le fait seul de déperditions accidentelles de courants, et d'arrêter la marche sans motif plausible. »

SYSTÈMES AUTOMATIQUES PAR ARRÊT DES CONVOIS.

Au moyen des systèmes que nous avons jusqu'à présent étudiés, les chefs de trains ou les mécaniciens peuvent être prévenus à temps des dangers qu'ils peuvent rencontrer; plusieurs inventeurs ont voulu pousser plus loin le problème et ont cherché à combiner des systèmes au moyen desquels les trains pussent être arrêtés par le seul fait de leur avertissement automatique. Celui qui a présenté le système le plus ingénieux dans ce but est M. Achard. Voici en quelques mots le principe de son système.

Les freins destinés à arrêter les wagons dans leur marche sont, comme on le sait, mis en jeu par un système d'engrenages que les conducteurs garde-freins sont chargés de faire fonctionner. Or si on suppose que cette fonction soit remplie par l'effet du mouvement du wagon lui-même en ayant pour cause déterminante une fonction mécanique quelconque qui peut être très-faible, puisqu'il ne s'agit pour cela que de soulever un crochet d'encliquetage, le problème que nous avons énoncé se trouvera résolu; car l'électricité peut être utilisée à provoquer cette fonction mécanique très-faible, qui aura pour effet de faire réagir les roues des wagons ou leurs essieux sur les freins, et la même cause qui fait réagir ce fluide sur des sonneries ou des appareils d'alarme peut provoquer la mise en jeu des freins dans les mêmes circonstances. De plus, le serrage de ces freins se faisant sous l'influence du mouvement même du convoi, la force de résistance augmente à mesure que la force d'impulsion diminue, et bientôt les deux forces étant

équilibrées, les wagons sont forcément arrêtés. Comme cet arrêt est successif, il n'y a pas à craindre qu'un choc brusque ne renverse les voyageurs et brise les freins. Tel est le principe du système de M. Achard. Voyons maintenant comment il est disposé.

D'abord la disposition du conducteur électrique sur la voie est exactement la même que dans les systèmes de MM. de Castro et Guyard, sauf le mode d'isolement, qui est différent et qui, à parler franchement, ne me paraît pas très-efficace. Ce mode d'isolement consiste à recouvrir la bande métallique de suif; celui-ci étant, selon M. Achard, mauvais conducteur de l'électricité à l'état solide, mais capable de devenir conducteur à l'état liquide [1]. C'est-à-dire à la suite d'un frottement qui en aurait opéré la fusion. Du reste M. Achard ne tient pas à son idée; peu lui importe quels moyens on doit prendre pour l'isolement de ses conducteurs, pourvu qu'ils soient isolés. Quant aux transmissions électriques, elles se font exactement comme dans les systèmes de MM. de Castro et Guyard. Seulement le courant reçu par les trains, après avoir traversé l'appareil d'alarme, doit agir sur un électro-aimant relais, qui ferme un circuit spécial à travers des embrayeurs électriques réagissant sur les freins de serrage.

Pour opérer le serrage de ces freins, M. Achard prend sur l'essieu du wagon en mouvement la force nécessaire pour serrer le frein, et cela sans autre engrenage qu'une roue à rochet C (fig. 13, pl. III) montée sur la manivelle A du frein ordinaire. Sur les dents de cette roue est disposé un cliquet H qui, étant mis en mouvement de va-et-vient, par suite d'une oscillation du bras articulé G, peut faire avancer cette roue, à chaque mouvement accompli, d'un

1. Ceci est une erreur, car les expériences que j'ai faites avec l'appareil de Ruhmkorff prouvent au contraire que les graisses liquides, comme les huiles, ne conduisent pas du tout l'électricité.

huitième de tour. Le mouvement de l'essieu est transmis à ce cliquet [illegible] de l'une excentrique et d'une bielle, et par l'intermédiaire de l'embrayeur électrique que nous avons décrit page 210 [illegible] comme.

A cet effet le mouvement alternatif de l'excentrique et de sa bielle se transmet à un axe vertical E, parallèle à l'axe de la manivelle du frein et très-rapproché de celui-ci. A cet axe intermédiaire est fixé le bras horizontal M, animé par conséquent comme lui d'un mouvement circulaire alternatif. Ce bras M porte à son extrémité une armature de fer doux L, qui va butter à chaque oscillation contre les pôles d'un électro-aimant I, invariablement fixé au cliquet qui doit agir sur les dents de la roue à rochet, et monté comme une poulie folle sur l'axe intermédiaire E qui vient d'être décrit.

On comprend alors que, quel que soit le mouvement de l'excentrique et de sa bielle, tant qu'aucun courant ne circulera pas dans l'électro-aimant, il n'y aura aucune liaison entre le système de l'axe intermédiaire et celui de l'axe de la manivelle du frein qui restera en repos; mais dès qu'un courant électrique viendra animer l'électro-aimant, il y aura adhérence entre celui-ci et l'armature qui venait à chaque oscillation butter contre lui. Il sera donc entraîné dans ce mouvement oscillatoire, puis poussé alternativement en sens inverse, et avec lui le cliquet qui fera tourner de l'intervalle d'une dent le rochet C à chaque oscillation de l'axe de la manivelle du frein. Le jeu de l'appareil arrive ainsi après un nombre de tours facile à calculer, à produire le serrage complet du frein et à arrêter le mouvement du train.

Ainsi sous l'influence seule d'une fermeture de courant qui, comme nous l'avons vu précédemment, est susceptible d'être opérée automatiquement au moment d'une trop grande proximité entre les trains ou d'un obstacle à leur

circulation, l'arrêt des convois peut être obtenu sans la participation d'aucune fonction humaine.

Maintenant ne vaudrait-il pas mieux, dans la pratique, que la double fonction électrique fût séparée? C'est une question qui pourrait être discutée. Peut-être vaudrait-il mieux laisser au mécanicien, prévenu d'ailleurs par l'un ou l'autre des moyens que nous avons étudiés, le soin de juger de l'opportunité de l'arrêt du convoi. Souvent, en effet, alors que la présence d'un train serait signalée sur un autre train, il pourrait arriver qu'il ne serait pas nécessaire d'arrêter le convoi; il faudrait, dans certains cas, au contraire, lui donner de la vitesse. L'appréciation de ces cas ne peut être évidemment faite que par le mécanicien, qui, en se reportant aux heures de départ des trains, peut pressentir quel est le train qui le suit ou qui le précède. Si c'est un train qui suit qui est signalé, il est évidemment inutile d'arrêter; mais bien au contraire on devra augmenter de vitesse pour que l'autre train, qui aura également reçu le signal d'alarme, ne s'arrête pas inutilement trop longtemps. Par un règlement bien entendu de la vitesse d'un train on pourrait presque toujours éviter les arrêts, et, pour obtenir ce règlement bien entendu, il suffirait que le mécanicien fût prévenu à temps : *Un homme averti en vaut deux*, dit le proverbe.

Quoi qu'il en soit, l'idée de M. Achard est très-ingénieuse, et le simple énoncé de ce que peut faire son système montre toute la puissance que met entre nos mains le fluide électrique.

Système de M. l'abbé Magnat. — M. l'abbé Magnat a aussi cherché à résoudre le problème de l'arrêt à distance des convois en cas de rencontre prochaine; mais son système est beaucoup moins réalisable que le système précédent.

Au lieu de réagir électriquement sur des freins comme le fait M. Achard, M. Magnat réagit *mécaniquement* sur une

soupape empêchant l'entrée de la vapeur dans les tiroirs du piston de la machine, et cela à l'aide de taquets placés à des distances alternativement de dix et de deux kilomètres et commandés par des électro-aimants. Ces taquets, suivant M. Magnat, devraient être à bascules, et n'agiraient sur l'appareil des locomotives qu'autant qu'ils seraient maintenus verticaux; chaque bascule serait déclanchée par l'armature d'un électro-aimant en communication avec un fil conducteur s'étendant sur toute la ligne, et dans lequel circulerait un courant constant. Un premier appareil à pédale, disposé de manière à interrompre et à inverser momentanément le courant, commanderait à 10 kilomètres de distance le jeu des taquets destinés à préserver chaque train en tête et en queue. Un second appareil à pédale rencontré par la même touche adaptée à la locomotive, servirait à renclancher en arrière les bascules des taquets dont le jeu ne serait plus nécessaire, et par conséquent à rendre de nouveau la voie libre.

L'auteur a réuni dans un même bloc prismatique en bois, de quelques décimètres de côté, l'appareil du taquet avec son électro-aimant et les deux interrupteurs à pédales. Ces blocs, en communication avec les fils électriques, seraient enterrés et alignés dans le sol de la voie à des distances telles qu'un train serait toujours protégé à l'avant et à l'arrière, à un minimum de 2 kilomètres et à un maximum de 10 kilomètres.

Une foule d'autres systèmes pour prévenir les accidents des chemins de fer ont encore été proposés; mais comme ils se rapportent tous plus ou moins à ceux que nous avons décrits, et que ceux-ci ont sur eux l'*antériorité*, je n'en parlerai pas davantage.

SYSTÈMES PARTICULIERS.

Moniteurs d'alarme lors de la disjonction des trains. — Il arrive quelquefois, sur certaines lignes où des convois un

peu longs ont à gravir des rampes assez roides, qu'une partie des wagons composant ces convois se trouve détachée et reste au milieu de la voie, le bruit de la locomotive et le roulement des wagons empêchant le mécanicien d'entendre les cris d'alarme des conducteurs et des gardiens du train. Pour éviter ce genre d'accidents qui peut en amener d'autres beaucoup plus sérieux par l'obstacle qui se trouve ainsi créé devant les convois, on a proposé de relier électriquement ensemble tous les wagons composant un convoi, et de faire réagir par ce moyen une alarme en cas de leur disjonction.

C'est encore M. Breguet qui, le premier, a songé à cette application de l'électricité, et qui l'a expérimentée sur le chemin d'Orléans. Le problème à résoudre était de faire réagir électriquement une forte sonnerie au moment où, le train venant à se séparer en deux, un courant électrique établi d'un bout à l'autre du convoi ne pourrait plus circuler. Pour tous ceux qui ont la moindre notion de la science électrique, la solution de ce problème se devine aisément; elle dépend du jeu d'un électro-aimant *relais*, interposé dans le courant principal (celui qui parcourt le convoi dans sa longueur) lequel par sa non-activité ferme un courant particulier passant à travers la sonnerie.

La difficulté de l'application de ce système de moniteur était tout entière dans la manière d'établir le circuit à travers tous les wagons du convoi, et c'est là ou M. Breguet a échoué. Il employait pour cela des chaînes à pincettes qu'il plaçait à côté des chaînes d'attache des différents wagons; mais, outre que ces chaînes étaient pour les employés d'une manipulation longue et minutieuse, elles pouvaient au moment d'un choc, d'une secousse quelconque du train, interrompre le courant et, par là, motiver un signal d'alarme inutile. — M. Hermann, qui, en 1853 avait répété au même chemin de fer les expériences de

M. Breguet, n'avait pas davantage perfectionné ce système de circuit.

Ce n'est qu'il y a peu de temps que M. Mirand, inventeur du nouveau système de sonneries électriques, dont nous avons parlé dans le chapitre précédent, a résolu complétement ce problème. Cette fois il n'y a plus de chaînes à pincettes; un simple ruban goudronné, muni de trois fils métalliques et enveloppé d'une gaîne imperméable, parcourt chaque convoi dans sa longueur. D'un côté, ce ruban est maintenu par une griffe sur la locomotive; de l'autre, il s'enroule sur un treuil placé sur le dernier wagon. Par ce moyen il peut être raccourci ou allongé, mais il est toujours à peu près tendu sur toute la longueur du convoi. C'est par ces trois fils métalliques que se font les communications électriques qui doivent réagir sur le relais de la sonnerie d'alarme, et en même temps sur une autre sonnerie télégraphique destinée à mettre en rapport télégraphique le conducteur-chef avec le mécanicen, car les sonneries de M. Mirand constituent, comme nous l'avons vu, un télégraphe auditif de la manipulation la plus facile.

La griffe, au moyen de laquelle le ruban est retenu à la locomotive, mérite une mention particulière, car il faut qu'elle puisse établir les rapports électriques avec les appareils, et en même temps qu'elle permette au ruban de s'échapper sans qu'il se brise, dans le cas où les trains viendraient à se désunir.

Elle se compose de deux parties distinctes : la griffe, proprement dite, et la boucle de la griffe. La première consiste dans six lames de ressort superposées angulairement deux à deux et fixées dans une pièce de bois. Trois boutons d'attache communiquant à chaque système binaire de ces lames servent à établir les relations électriques, et les lames elles-mêmes formant pincettes sont percées à leur extremité d'un trou à peu près carré.

La boucle de la griffe se compose d'une pièce mince de bois, dans laquelle sont incrustées trois lames métalliques, terminées, d'un côté, par un crochet, et de l'autre, par une double saillie angulaire qui doit entrer dans les trous des lames de la griffe. On accroche le ruban par ses bandes métalliques aux trois crochets, et on fait entrer de force la boucle ainsi disposée entre les lames de la griffe qui viennent bientôt saisir les saillies angulaires, et les tiennent suffisamment comprimées pour résister à la traction exercée sur le ruban quand on le tend. Comme ces saillies sont légèrement arrondies des deux côtés, on comprend qu'un effort un peu considérable peut facilement les retirer de la griffe.

Moniteurs pour la vitesse des trains. — « Depuis longtemps, dit M. Breguet dans une note adressée par lui à l'Académie des sciences, en décembre 1849, on recherche les moyens de constater d'une manière rigoureuse la vitesse des trains sur tous les points d'une ligne de chemin de fer, ainsi que le temps écoulé à chaque station où s'arrête le convoi. Mais jusqu'ici rien n'a parfaitement répondu au but proposé, parce que dans ce qui a été tenté on a toujours dû se servir de l'entremise d'un employé et que, soit négligence soit intérêt de sa part, les résultats obtenus n'ont été ni assez exacts ni à l'abri de toute discussion. J'ai donc pensé qu'un instrument qui, de lui-même, laisserait sur une bande de papier une indication permanente des différentes vitesses, ainsi que la durée du temps passé aux diverses stations, pourrait être utile au service des chemins de fer.

« La machine que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de l'Académie se compose de trois parties : 1° d'un rouage d'horlogerie dont l'un des axes porte une courbe en hélice faisant son tour en une heure ou en une fraction quelconque d'heure; cette hélice fait mouvoir perpendiculairement,

et de bas en haut, un crayon; 2° d'une bande de papier d'une longueur variable, suivant le besoin, et qui peut avoir de 40 à 50 mètres; dans le modèle ici présent elle a 2 mètres; 3° d'une vis sans fin dont l'axe porte à son extrémité extérieure une poulie. Cette vis fait mouvoir une roue dont le pignon engrène avec une seconde roue montée sur un axe qui porte un cylindre destiné à faire mouvoir une bande de papier.

« La machine étant posée soit sur le tender soit sur un wagon du convoi, on placera une poulie sur l'un des axes des roues, et une corde étant passée sur cette poulie ainsi que sur celle de la machine, la vis tournera; si le wagon marche, les roues et le cylindre seront mis en mouvement, et, par suite, la bande de papier. Ainsi, on a deux mouvements distincts, indépendants l'un de l'autre : l'un horizontal et variable, celui de la bande de papier; l'autre vertical et uniforme, celui du crayon. Par suite de ces deux actions, on aura une courbe sinueuse dont les abscisses représenteront les espaces parcourus et les ordonnées le temps écoulé.

« Dans cette machine, le rapport entre le cylindre et la poulie est $\frac{1}{300}$, le diamètre du cylindre a 6 centimètres, par conséquent 300 tours de la poulie représentent un développement de papier de 20 centimètres; et si les 300 tours sont produits par une marche du train sur une longueur de 1 kilomètre, on voit que chaque centimètre de papier représentera un espace parcouru égal à 50 mètres. La largeur du papier est de 6 centimètres. Si le crayon la parcourt en 20 minutes, chaque minute sera mesurée par une distance de 3 millimètres. Il est aisé de voir que des courbes tracées d'après ces conditions pourront donner avec facilité toutes les variations de vitesse dans la marche d'un train; on observera aussi que les minutes pouvant être in-

diquées par des espaces égaux à 2, 3 et même 4 millimètres, les temps d'arrêt aux stations seront d'une exactitude rigoureuse. »

Autre système. — Pour servir de guide au mécanicien dirigeant un convoi, M. Breguet a également disposé un régulateur de vitesse fondé sur les effets de la force centrifuge. Cet appareil, assez semblable à celui dont on se sert dans les cours de physique pour démontrer les causes de l'aplatissement de la terre aux deux pôles, consiste dans deux cercles d'acier très-flexibles croisés à angle droit et montés sur deux douilles, dont l'une est mobile de haut en bas le long d'un axe vertical, et l'autre est susceptible de tourner sur elle-même horizontalement. Cette dernière douille est reliée à un engrenage qui reçoit son mouvement de l'essieu des roues du tender de la locomotive. Plus le convoi marche vite, plus la force centrifuge affaisse les ressorts d'acier; et si un index fixé sur la douille mobile se meut devant une échelle graduée, le mécanicien peut suivre à chaque instant les différentes phases de la vitesse de sa machine. Pour le prévenir en cas de distraction ou d'oubli, lorsque la vitesse maximum qu'il doit donner à sa machine est outre-passée, ou bien lorsque cette vitesse n'a pas atteint le degré du minimum qui a été fixé, une sonnette électrique pourrait être annexée à cet appareil. Il suffirait alors d'adapter à l'échelle graduée qui serait en bois ou en porcelaine, deux butoirs métalliques à vis de rappel qui seraient mis en connexion avec la pile du convoi et la sonnerie, et dont on limiterait la position suivant la vitesse moyenne dont le train devrait être animé. Leur écart représenterait donc un maximum ou un minimum qui ne pourrait être franchi sans altérer sensiblement la vitesse moyenne qu'on aurait déterminée. L'index porté par les cercles d'acier, en s'élevant ou en s'abaissant, pourrait fermer le courant électrique à travers la sonnerie, suivant l'accélé-

ration ou le ralentissement trop considérable de la vitesse du train.

En établissant, comme M. Ménant et autres l'ont proposé, un régulateur à force centrifuge réagissant sur le levier qui commande l'introduction de la vapeur dans les tiroirs des pistons, on pourrait faire en sorte que la machine réglât elle-même sa vitesse, comme le font les machines à vapeur fixe. Mais l'expérience a démontré qu'il valait mieux laisser ce soin aux mécaniciens que l'on pourrait d'ailleurs prévenir par le moyen indiqué précédemment.

Ayant parlé, dans notre premier volume (page 309), de l'application que M. Nicklès avait faite de l'électricité aux chemins de fer pour augmenter la force d'adhérence des roues des locomotives aux rails, nous ne reviendrons pas sur cette question; nous dirons seulement que le même inventeur a cherché aussi à appliquer le même principe électro-magnétique au serrage des freins. Mais son système est loin de valoir celui de M. Achard, dont nous avons parlé.

CONCLUSION.

D'après l'exposé que nous venons de faire des principaux systèmes proposés pour la sécurité des chemins de fer, on voit que les moyens ne manquent pas pour atteindre ce but. Quel est celui qui est le plus facilement applicable et qui fournirait en même temps le plus de garanties? C'est une question à laquelle l'expérience seule pourrait répondre d'une manière décisive. Malheureusement, comme je le disais au commencement de ce chapitre, les compagnies qui ont fort peu d'empressement pour adopter un système quelconque autre que ceux dont elles sont déjà en possession, se soucient encore moins de faire des expériences; c'est tout au plus si elles permettent aux inventeurs

de faire à *leurs frais* l'expérimentation de leur système. Pourtant, trois d'entre ces inventeurs ont déjà commencé, ce sont MM. Tyer, Bonelli et Regnault. Il paraît que les freins automatiques de M. Achard vont être prochainement essayés, d'après l'avis de la commission d'enquête. Mais dans tous les essais qui, jusqu'à présent, ont eu lieu, on a mis tant d'insouciance que c'est à peine si on en connaît le résultat. Le meilleur moyen pour arriver à une solution complète de la question serait que le gouvernement imposât aux compagnies, en leur délivrant les concessions, l'obligation de faire un certain nombre d'essais. Une commission, nommée par l'État, serait chargée de l'exécution de cette obligation et servirait d'intermédiaire entre les inventeurs et les compagnies, afin que celles-ci ne pussent pas entraver les expériences, comme cela a eu lieu plus d'une fois.

En attendant la solution de cette question, je vais essayer de discuter les avantages et les inconvénients des différents systèmes dont nous avons parlé. Sans doute, n'étant pas désintéressé dans la question, mon jugement pourra être empreint de partialité. Mais au moins je donnerai des raisons. Maintenant, on prendra ces raisons pour ce qu'elles vaudront.

Examinons d'abord la question de priorité. Si l'on a bien suivi l'ordre des dates des brevets et publications des systèmes que nous avons décrits, on pourra se convaincre: 1° que le premier inventeur des moyens télégraphiques combinés pour la sécurité des chemins de fer est M. Cooke, l'associé de M. Weatstone; 2° que le premier inventeur des contrôleurs électriques fonctionnant sous la seule influence des convois est M. Breguet; 3° que celui qui le premier a établi une relation électrique entre les stations et les trains en mouvement est M. Tyer de Dalton; 4° que mon système est le premier qui ait pu permettre l'échange d'avertisse-

ments automatiques entre deux convois par le seul fait de leur trop grand rapprochement.

Quand, on résume, les moyens employés dans les divers systèmes que nous avons décrits, on voit qu'ils peuvent être classés en deux grandes catégories. Les uns qui exigent une intervention humaine, les autres qui peuvent s'en passer. Nous avons déjà dit ce que nous pensions des premiers; quant aux autres, ils doivent être tellement combinés qu'ils n'offrent aucune chance probable de dérangements accidentels. Pour cela, il faut 1° que les conducteurs appelés à transmettre le courant soient isolés le mieux possible, et ne soient pas un embarras sur la voie, ce qui amènerait inévitablement leur rupture ou tout au moins leur détérioration; 2° que les appareils soient très-simples sur les trains et que les fonctions électro-mécaniques délicates s'effectuent dans des appareils placés d'une manière fixe, à l'abri de l'humidité, des injures du temps, et des variations de la température; 3° que ces derniers appareils puissent être facilement réglés par des employés qui aient déjà l'habitude du maniement des télégraphes; 4° que l'on puisse être informé facilement du bon état des communications électriques; 5° que le service et l'interprétation des signaux soient simples et uniformes, pour qu'on ne puisse pas se méprendre et confondre telle fonction d'un appareil avec celle d'un autre; 6° enfin, que le mécanicien puisse être informé directement, sans aucun interprète spécial, des signaux qui lui sont transmis.

D'après cela, on voit que les systèmes à bandes continues ou interrompues qui occupent toute la longueur du chemin, et sur lesquelles appuient d'une manière permanente un frotteur, ne réalisent pas les conditions voulues, car ces bandes sont très-difficiles à isoler et sont un obstacle ou un embarras pour le service du chemin de fer. De plus, ces systèmes exigent : soit des relais à déclanchement qu'il est bien difficile de régler convenablement à cause des

trépidations du convoi; soit des télégraphes à aiguilles qui nécessitent des employés spéciaux; soit des compteurs plus ou moins compliqués qui sont susceptibles de dérangement.

Les systèmes à touches isolées comme ceux de MM. Tyer, Maigrot et le mien, réalisent bien les conditions que nous avons annoncées, mais les deux premiers sont incomplets et ne satisfont qu'imparfaitement à la cinquième condition. Le mien, au contraire, fournit des signaux automatiques et réalise, par la simplicité de sa disposition, le problème de l'unité de manœuvre. On a dit, il est vrai, que dans mon système les signaux automatiques étant obligés, pour être transmis, de passer par les stations, avaient à parcourir de longs circuits et dépendaient uniquement du bon fonctionnement de l'appareil contrôleur. Mais je ferai observer: 1° que la transmission des signaux automatiques se faisant sous une influence électrique différente de celle qui les provoque, les circuits ne peuvent jamais dépasser la longueur du fil de la ligne comprise entre deux stations consécutives, c'est-à-dire une longueur maximum de 3 ou 4 lieues, ce qui est très-peu de chose pour des appareils à aiguilles aimantées; 2° que le jeu du compteur étant simple puisqu'il n'exige qu'un déclanchement toutes les deux minutes environ, il y a peu de probabilité qu'il soit soumis à des dérangements surtout réagissant par l'intermédiaire d'un relais et de mouvements d'horlogerie puissants; d'ailleurs on peut faire en sorte que cet appareil, en cas de dérangement, soit replacé automatiquement devant le repère au moment du passage des trains devant chaque station. Ce serait un mécanisme additionnel à ajouter ou même un soin qu'on pourrait prendre à la station avant que de donner le signal de départ. D'un autre côté, comme le contact métallique qui provoque l'apparition automatique du signal d'alarme sur les convois, se fait sous l'influence

d'un mouvement d'horlogerie, c'est-à-dire avec toute la précision et la sûreté désirables, on n'a pas à craindre comme dans les autres systèmes que le circuit ne soit pas bien fermé.

On a dit encore que les trains pairs et impairs envoyant à travers le relais du compteur à la station, des courants contraires pourraient, s'ils se trouvaient fortuitement chacun sur un interrupteur, empêcher l'appareil de fournir des indications. Mais si l'on considère que les interrupteurs n'occupent en longueur par rapport à la voie qu'un cinq centième de la longueur de cette voie, et que sur chacun de ces interrupteurs le frotteur peut prendre vingt positions complètement différentes, on se trouve avoir dix mille chances sur une que cette rencontre simultanée ne se fera pas. C'est donc une éventualité dont les conséquences sont moins à craindre que celles qui peuvent résulter de toutes autres causes de dérangement non prévues. Du reste en prenant dans chacun des systèmes proposés ce qu'il renferme de bon, on pourrait peut-être combiner un système définitif qui serait complètement satisfaisant.

D'un autre côté, plusieurs des appareils que nous avons décrits pourraient être appliqués à tous les systèmes. Ainsi le télégraphe portatif de M. Breguet devrait toujours être l'accessoire indispensable des appareils d'alarme des convois, les freins automoteurs de M. Achard pourraient être un complément très-avantageux des moniteurs électriques quels qu'ils soient; les avertisseurs électriques pour la disposition des trains pourraient également être employés concurremment avec eux. Enfin, il n'est pas jusqu'aux détails de l'installation qui ne pourraient dans certains cas gagner à être transportés d'un système dans l'autre. Espérons donc que les compagnies ouvriront enfin les yeux et qu'elles [illegible] ce que l'opinion publique [illegible] avec tant d'instances depuis si longtemps.

III.

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE.

Au premier abord, quand on entend parler d'*horlogerie électrique*, on se demande quel avantage on peut trouver à introduire dans un système mécanique aussi simple qu'une horloge, et qui marche à si peu de frais, un élément aussi dispendieux et aussi capricieux que l'électricité. Mais l'on ne tarde pas à saisir l'importance de cette application électrique, dès lors qu'on examine que l'électricité, par l'instantanéité de sa transmission, peut rendre deux ou plusieurs mouvements parfaitement synchroniques, et permet de régler d'après un régulateur unique un nombre quelconque de cadrans plus ou moins éloignés les uns des autres. D'un autre côté, bien que le mécanisme des horloges soit très-simple dans son principe, le nombre considérable des rouages et des pièces qui les composent, la difficulté de leur ajustement, l'épaississement des huiles, les variations dans l'isochronisme des mouvements du pendule régulateur par suite de la différence de ses écarts et de la longueur de sa tige, rendent leur fonctionnement peu régulier, et ont dû faire rechercher si l'emploi des moyens électriques ne permettait pas la suppression de ces rouages, de ces huiles, etc., et une régularisation plus parfaite dans la marche du système. Jusqu'à présent ce dernier problème n'a pas, il est vrai, été résolu d'une manière exempte de tous reproches, théoriquement parlant. Cependant les essais qui ont été faits prouvent que le principe des horloges électriques est bon et pourra amener prochainement à quelque notable perfectionnement dans l'art de l'hologerie.

Ainsi l'horlogerie électrique peut avoir deux buts très-

distincts à remplir : d'abord de fournir l'heure indépendamment de tout système d'horlogerie ordinaire; en second lieu, de la distribuer dans tel nombre d'endroits qu'il convient par l'intermédiaire de cadrans compteurs. Ce dernier but est évidemment le plus utile, car il est facile de comprendre de quelle commodité peut être pour une ville comme pour les chemins de fer et les grands établissements industriels, dans lesquels les ateliers sont disséminés, la répartition parfaitement exacte de l'heure d'après un chronomètre unique, au règlement duquel on pourrait alors apporter un soin tout particulier. Du reste plusieurs villes, entre autres les villes de Gand, de Leipzig, de Marseille, possèdent déjà une installation électrique de ce genre, et il est évident que dans un avenir peu éloigné ce système de répartition électrique de l'heure sera établi dans les principales villes d'Europe, les ports de commerce et sur toutes les lignes des chemins de fer.

Compteurs électro-chronométriques. — Le Bulletin de l'Académie de Bruxelles constate qu'avant le 8 octobre 1840, M. Wheatstone avait appliqué le principe de son télégraphe à faire lire simultanément, en un grand nombre de lieux, l'heure donnée par une seule horloge régulatrice ou, en d'autres termes, qu'il était parvenu à télégraphier l'heure, comme il avait télégraphié, l'expression d'une pensée ou d'une volonté quelconque. Dans ce but, la roue destinée à fermer ou à rompre le circuit, au lieu d'être mise en mouvement au moyen du doigt, comme dans le télégraphe, était rendue extrêmement légère et recevait sa rotation de l'arbre d'un mouvement d'horlogerie; les aiguilles du cadran fixe, placé à distance, étaient mues par le même moyen absolument que le cadran du télégraphe; enfin, les fils qui établissaient la communication entre l'horloge et l'instrument qui devait répéter son mouvement, pouvaient, comme dans les télé-

graphes électriques, avoir toute longueur voulue et comprendre dans le circuit un nombre quelconque de ces instruments répétiteurs.

Malgré la notoriété publique de sa découverte, M. Wheatstone fut attaqué par plusieurs physiciens, entre autres par M. Bain, qui voulaient revendiquer à leur profit la priorité de l'invention. Bien que ces physiciens n'aient pu fournir de preuves suffisantes à l'appui de leurs prétentions, il peut bien se faire que l'idée de cette application leur en soit venue en même temps qu'à M. Wheatstone; car il arrive souvent que des découvertes importantes se trouvent faites simultanément par plusieurs personnes, témoin celle de la pesanteur de l'air. Toujours est-il que jusqu'à plus ample information, c'est bien à M. Wheatstone qu'il faut rapporter cette curieuse application de l'électricité.

Compteurs électro-chronométriques de M. Paul Garnier. — MM. Froment et Paul Garnier sont les premiers, en France, qui aient exécuté d'une manière complétement satisfaisante les compteurs électro-chronométriques. M. Paul Garnier particulièrement a fait de cette application de l'électricité une branche d'industrie assez importante qu'il exploite avec avantage depuis sept ans. C'est lui, en effet, qui a établi les cadrans de la gare du chemin de fer à Lille, qui marchent synchroniquement au nombre de dix-huit sous l'influence d'un même régulateur. C'est également lui qui a installé les cadrans électriques des stations sur les lignes de Chartres, de Lyon et autres, et ces cadrans dont les dimensions varient de $0^m,25$ à $1^m,80$, marchent souvent à une distance de plusieurs kilomètres de l'horloge régulateur. Enfin, c'est M. Paul Garnier qui a reçu à l'Exposition universelle de 1855 la médaille d'honneur destinée à l'horlogerie électrique.

Le régulateur ou horloge type des compteurs électro-

chronométriques de M. Paul Garnier est une pendule ordinaire marchant le plus exactement possible, et c'est sur l'axe de la roue de délai du mécanisme de la sonnerie de cette pendule, qu'est pris le mouvement qui doit mettre en jeu l'interrupteur du circuit correspondant aux compteurs. A cet effet, cet axe est muni d'un système d'ailettes, H fig. 3, pl. V (au nombre de trois ou de quatre), qui peuvent arrêter le mouvement de la sonnerie lorsque l'une d'elles *h* est engagée entre les dents d'une étoile d'acier F montée sur l'axe de la roue d'échappement *d*, mais qui le dégagent de six en six secondes à mesure que s'échappent les dents de l'étoile sous l'influence de la rotation de la roue d'échappement. L'axe sur lequel est fixé ce système d'ailettes, porte en même temps une espèce d'étoile à trois dents *a* qui peut, en tournant, soulever un levier coudé métallique ABC mis en rapport avec l'une des branches du courant, et ce levier, muni à l'autre extrémité C d'un appendice de métal non oxydable, peut rencontrer un ressort à pointe d'or D auquel aboutit l'autre branche du courant. Il en résulte que quand le mouvement de l'axe portant les ailettes se trouve dégagé, la dent de l'étoile qui s'est échappée, soulève le levier ABC, et celui-ci vient appuyer contre le ressort à pointe d'or; alors le courant se trouve formé. Mais aussitôt que l'échappement a eu lieu, c'est-à-dire que l'axe en question a accompli un tiers de sa révolution, une nouvelle ailette s'engage entre les dents de l'étoile F et le courant se trouve interrompu, parce qu'alors la branche du levier ABC se trouve entre les dents de l'étoile *a* qui doit agir sur lui. Ainsi, comme on le voit, le courant est fermé toutes les six secondes, mais on pourrait en multipliant les dents des étoiles et les ailettes obtenir des fermetures plus fréquentes.

Au premier abord, quand on ne considère que la simple question de fermeture du courant, on se demande pour-

quoi M. Paul Garnier a employé un interrupteur aussi compliqué, lorsqu'en faisant réagir directement la roue d'échappement ou même le balancier de la pendule sur une lame de ressort, on aurait pu obtenir des fermetures directes qu'on aurait multipliées autant qu'on aurait vou u; mais si on considère que, pour ne pas altérer la régularité de marche de la pendule, il est nécessaire de ne pas gêner la roue d'échappement ou le pendule dans son mouvement; si l'on considère que pour obtenir une bonne fermeture de courant, il faut une pression assez forte et successive, on ne tardera pas à reconnaître combien il a fallu de réflexion à M. Paul Garnier pour se défendre d'une trop grande simplicité dans la construction de son interrupteur, et combien il a fait preuve en cela de perspicacité à une époque où tous les caprices de l'électricité n'étaient pas encore connus.

L'interrupteur pour des compteurs battant la seconde a été plus difficile à combiner; car pour obtenir des fermetures toutes les secondes sans toucher à l'échappement ou au balancier, il fallait réagir sur un moteur indépendant et marchant pourtant synchroniquement avec cette roue d'échappement. En répétant les rouages du mouvement d'horlogerie à partir du barillet, on y serait peut-être parvenu, mais M. Garnier a mieux aimé recourir à un autre moyen que nous expliquerons plus tard.

Pour que chaque fermeture de courant, opérée par les moyens que nous venons de passer en revue, puisse réagir sur un compteur capable de les enregistrer exactement et de les traduire sur un cadran à l'aide d'aiguilles analogues à celles d'une horloge, plusieurs conditions indispensables devaient être réalisées.

Il fallait : 1° que chaque fermeture du courant ait pour effet l'avancement d'une roue à rochet, dont les dents fussent en rapport avec l'attraction électro-magnétique;

2° Que chaque impulsion communiquée à cette roue fût comprimée par un arrêt secondaire, capable d'anéantir instantanément la force d'inertie développée par cette impulsion;

3° Que la force nécessaire pour obtenir le jeu de ce compteur fût assez minime pour être excitée par une faible pile de Daniell;

4° Que l'avancement saccadé de la roue à rochet pût être transformé de manière à faire fonctionner deux aiguilles dans les rapports de la division du temps.

Pour résoudre ce quadruple problème, M. Paul Garnier a disposé ses appareils comme on le voit, fig. 1, pl. V.

Dans cette figure LL′ est l'électro-aimant commandant le mécanisme du compteur; il est disposé verticalement, les branches en bas, et c'est la pesanteur de l'armature M régularisée, comme nous l'avons indiqué page 217 (Ier vol.), qui sert de force antagoniste. La tige T sur laquelle réagit le contre-poids, est articulée en O sur un levier EF qui se trouve au-dessous de l'axe de la roue CC′, et qui se termine en AK par une potence sur laquelle est fixé un crochet d'encliquetage. Deux butoirs d'arrêt H, H′ adaptés sur ce même levier, sont taillés de manière à venir buter contre la roue à rochet après chaque mouvement accompli par ce levier. Enfin un cliquet de retien G et une roue intermédiaire CC′, engrenant sur un pignon adapté à la roue à rochet BB′, complètent le mécanisme du compteur.

Le mécanisme qui traduit sur le cadran en divisions du temps, le mouvement saccadé du rochet BB′ est placé derrière la platine du compteur, et n'est autre qu'une minuterie ordinaire d'horloge, se composant d'une roue qu'on appelle roue de chaussée qui se monte à frottement sur l'axe de la roue CC′, et qui engrène avec une seconde roue dite de renvoi qui porte le même nombre de dents que

celle de chaussée; cette roue de renvoi est montée sur un pignon calculé pour faire douze tours, tandis qu'une troisième roue, appelée roue de canon, avec laquelle elle engrène n'en fait qu'un; la roue de canon porte l'aiguille des heures; elle a pour axe la chaussée qui porte l'aiguille des minutes.

Généralement la roue CC′ fait un tour par heure, et comme elle engrène avec le pignon de la roue à rochet BB′, le rapport du nombre des dents du pignon et de cette roue doit être dans une proportion convenable eu égard au nombre de dents du rochet et aux intervalles de temps que met l'interrupteur entre chaque fermeture du circuit.

Dans les compteurs à secondes de M. Paul Garnier, le nombre des dents du rochet est de 60 et de 90 dans ses compteurs fonctionnant toutes les quatre secondes, par conséquent la roue intermédiaire a 120 dents dans le premier cas et 80 dans le second.

Le jeu de ce compteur s'effectue de la manière suivante :

Quand une fermeture du courant rend actif l'électro-aimant LL′, l'armature M est soulevée et avec elle le levier EF qui, à l'aide de son crochet d'impulsion, fait avancer d'une dent le rochet. Mais en même temps que ce mouvement s'accomplit, le butoir H vient se placer devant l'une des dents de ce même rochet et l'empêche d'être poussé plus loin. Aussitôt que le courant a cessé de circuler dans l'électro-aimant LL′, la roue à rochet se trouve dégagée, mais elle est maintenue dans sa position par le cliquet de retien et le butoir H′.

Dans l'origine, M. Paul Garnier employait de doubles rochets pour donner plus de prise au butoir d'arrêt H, mais il n'a pas tardé à reconnaître qu'on pouvait résoudre le problème avec un seul rochet, puisque le butoir H pouvait constituer un obstacle rigide au mouvement de la roue.

Pour régler la distance entre l'armature et l'électro-aimant sans changer les conditions de force du crochet d'encliquetage, M. Paul Garnier a fait de la tige T une véritable vis de rappel se vissant en Z, de sorte qu'il suffit de tourner cette vis à droite ou à gauche pour rallonger ou raccourcir le crochet, et par cela même pour rapprocher ou éloigner l'armature. Enfin une vis adaptée à l'extrémité de l'armature de l'électro-aimant et qui appuie contre le cuivre de la bobine quand cette armature est attirée, peut régler la distance de son contact nécessité par le magnétisme remanent.

Quand les aiguilles des cadrans qui doivent être mises en mouvement par le genre de compteurs sont longues et lourdes, il faut nécessairement qu'elles soient équilibrées. En conséquence, les axes de la minuterie sur lesquels elles sont montées, portent du côté opposé des disques de plomb qui sont cachés derrière le cadran.

La petite roue RR′ avec son cliquet d'arrêt X que l'on distingue sur la figure a été adaptée dans le but de permettre la remise des aiguilles à l'heure, ce que l'on fait à l'aide du bouton Y en ayant soin de soulever le cliquet X par son petit manche. Pour que cette opération soit plus facile et susceptible d'être faite sans que l'on ait besoin de regarder le grand cadran, un petit cadran UU et une aiguille indicatrice S ont été adaptés derrière le mécanisme du compteur.

Nous devons mentionner ici une heureuse application des courants dérivés que M. Paul Garnier a faite dans son système et qui offre de très-grands avantages dans l'application de l'horlogerie électrique, en ce qu'elle permet d'ajouter ou de retrancher des cadrans, sans que ceux qui restent soient troublés dans leurs fonctions. Au lieu de faire passer directement le courant électrique dans les bobines des divers appareils horaires, il établit deux fils

qui forment ce qu'il appelle une artère et sur lesquels il attache chacun des fils des deux pôles des électro-répartiteurs.

AB, CD, fig. 2, pl. V, sont les fils de l'artère partant de la pile, et se dirigeant parallèlement le long de la ligne où doivent se placer les appareils horaires; l'horloge, type H, est mise dans le circuit qui n'est pas fermé, car les deux fils AB, CD sont bien isolés l'un de l'autre. Les appareils horaires *o*, *o'*, *o''* ont leurs fils *a b*, *a'b'*, *a''b''*, etc., en communication avec AB et CD, de sorte que le circuit voltaïque se trouve complété par ces différents fils métalliques. On a soin de les prendre d'un beaucoup plus petit diamètre que celui des deux gros fils, et alors la résistance de ces deux derniers peut être négligée devant celle des fils *a b*, *a'b'*, *a''b''*, etc., et il en résulte qu'ils se partagent le courant électrique comme s'ils étaient attachés au même point, c'est-à-dire que le courant se divise entre eux proportionnellement à leur pouvoir conducteur. On conçoit aisément que pourvu que la pile fonctionne et que l'horloge type ne se dérange pas, un des appareils horaires peut être supprimé sans que les autres cessent d'indiquer l'heure. On peut même embrancher, d'après le même principe, les fils *c d* d'un appareil horaire *o'''* sur les fils *a''b''* d'un autre instrument semblable.

On a supposé que les deux gros fils de cuivre AB, CD étaient isolés; mais d'après ce que l'on a dit du pouvoir conducteur du sol, on peut en remplacer un par la terre et se borner à un gros fil CD bien isolé; alors chacun des fils *a*, *a''*, *a'''* des appareils horaires est soudé au gros fil CD, tandis que chaque fil *b*, *b''*, *b'''* est attaché à une plaque métallique plongée dans le sol.

Compteurs électro-chronométriques de M. Froment. — La raison qui a déterminé M. Paul Garnier à substituer les effets de la pesanteur à ceux des ressorts anta-

gonistes dans ses compteurs électro-chronométriques, est sans doute l'invariabilité de la force antagoniste qui a lieu dans le premier cas, et qui n'existe pas dans le second, puisque les ressorts antagonistes perdent de leur élasticité par leur mise en jeu. Sous ce rapport il y a effectivement avantage, mais plusieurs inconvénients peuvent en résulter; d'abord le compteur dans lequel la pesanteur joue le rôle de force antagoniste, doit toujours être placé dans une position verticale pour marcher; en second lieu, la résistance n'augmentant pas avec la force électro-magnétique, le mouvement des pièces qui subissent l'impulsion est à son maximum au moment où il doit cesser. En conséquence les aiguilles, si elles sont un peu longues, éprouvent à chaque impulsion un tremblement qui pourrait quelquefois faire céder l'encliquetage. C'est ce que M. Froment a voulu éviter dans ses compteurs, et pour y arriver plus sûrement, il a muni les armatures de ses électro-aimants du répartiteur électrique que nous avons décrit page 322 (1er vol.), et qui maintient la force électro-magnétique égale pendant tout le temps de l'attraction. C'est pourquoi il a obtenu pour ses aiguilles un battement sec et sans tremblement, même avec des cadrans de 2 mètres de diamètre.

Les compteurs de M. Froment battent la seconde, et le mécanisme interrupteur qui les faisait fonctionner dans l'origine était des plus simples. Il consistait dans une roue à rochet mise en rapport de mouvement avec l'horloge, de telle manière que chacune de ses dents vînt effleurer un ressort fixe toutes les secondes. Ce ressort qui n'est autre qu'une lame d'or très-mince était en communication avec une branche du courant, et comme la roue elle-même était en rapport avec l'autre branche, le courant se trouvait fermé à chaque contact, c'est-à-dire toutes les secondes. Toutefois M. Froment préfère maintenant employer comme

régulateur-type sa petite pendule électro-magnétique que nous décrirons bientôt, et dont l'électro-aimant moteur peut remplir cette fonction indépendamment de l'horloge.

Le compteur de M. Froment est représenté fig. 4, pl. V. MM, est l'électro-aimant, AB son armature et BC une rallonge de cuivre sur laquelle est articulé le répartiteur CDE. La tige GD de ce répartiteur est articulée à un levier coudé GHI dont le bras I porte un cliquet d'impulsion. Ce cliquet en réagissant sur la roue à rochet K fait marcher la roue L par l'intermédiaire d'un pignon et la roue L commande la minuterie qui est disposée derrière la platine. Pour qu'on puisse aisément mettre cette minuterie à l'heure, la roue L est emmanchée à frottement dur sur son axe, et cet axe porte une roue d'angle O, avec laquelle s'engrène une autre roue P montée sur l'arbre horizontal QP. Cet arbre se termine en Q par un carré qui sort du cadre, et au moyen d'une clef on peut faire marcher la minuterie sans changer la position des roues K et L. R est le ressort antagoniste qui rappelle, par l'intermédiaire du répétiteur, l'armature AB contre le butoir S au moment des interruptions du courant. La vis calante V sert à empêcher l'effet du magnétisme remanent sur l'armature, et peut servir en même temps de relais. Enfin le ressort TU, terminé par une étoile U, joue le rôle du cliquet de retien.

Le jeu de ce compteur est facile à concevoir; lorsque l'armature AB est attirée sous l'influence d'une fermeture de courant, les deux leviers inclinés CD, DE se redressent et entraînent de gauche à droite la tige GD qui, en faisant basculer le levier coudé GHI, pousse le cliquet d'impulsion. Bien que l'amplitude de ce mouvement soit diminuée par la petitesse du levier HI, par rapport au levier GH, elle suffit pour faire échapper la dent du rochet, car elle représente elle-même une amplification considérable de la distance séparant l'électro-aimant de son armature par suite

du jeu du répétiteur. Lorsque le courant est interrompu, le ressort R tend à recourber les branches de ce répartiteur, et par cela même soulève l'armature AB contre son butoir d'arrêt, alors le cliquet d'impulsion I se trouve mis en prise avec une nouvelle dent du rochet, laquelle dent s'échappe aussitôt que le courant traverse de nouveau l'électro-aimant.

Comme on le voit, ce compteur est admirablement conçu et la disposition des pièces qui le composent est on ne peut plus simple.

Compteurs électro-chronométriques de M. Breguet. — Dans les compteurs dont nous venons de parler, le mouvement des minuteries est dû à l'action électro-magnétique; il nécessite par conséquent une certaine force de la part du courant. M. Breguet a voulu rendre cette force aussi minime que possible, en appliquant aux horloges le principe de son télégraphe électrique.

Il prend pour cela des horloges ordinaires dont il enlève le pendule, et ne fait intervenir l'action électrique que pour exercer une fonction régulatrice. A cet effet, la palette d'un électro-aimant placé à l'intérieur de l'horloge, réagit par l'intermédiaire d'un levier sur l'ancre de la roue d'échappement, et comme les oscillations de cette palette dépendent de celles du pendule de l'horloge-type, les mouvements des deux horloges sont parfaitement synchroniques.

Ce système, du reste, peut être considéré comme un moyen de faire marcher parfaitement d'accord toutes les horloges ou pendules déjà existantes dans un établissement ou même dans une ville, et, dans ce cas, il présenterait même plus d'avantages que les autres, puisqu'il emploierait des appareils déjà faits, et n'aurait à leur faire subir que de très-petites modifications.

Compteurs électro-chronométriques de M. Robert Houdin. — La faculté que possède le répartiteur électrique de

M. Robert Houdin (que nous avons décrit avec détails page 318, Ier vol.), de faire réagir énergiquement une armature à une distance considérable de son électro-aimant, a pu être mise à profit par cet habile mécanicien pour mettre en mouvement de grands rochets à larges dents commandant des aiguilles d'une taille considérable. Le compteur qu'il avait à l'Exposition de 1855 réagissait, en effet, sur un cadran de 2m,50, et pouvait fonctionner avec un seul élément de Daniell de petit modèle. La fig. 5, pl. V, représente le mécanisme de ce compteur gigantesque.

L'électro-aimant commandant la roue à rochet de ce compteur est en E; il a pour armature une lame de fer doux A articulée en B et terminée par un levier L′, qui constitue une des branches du répartiteur. L'autre branche L de ce répartiteur pivote en B′, et porte, articulé à son extrémité libre, un cliquet d'impulsion D. En face de l'armature A se trouve disposé un levier coudé V, qui, étant rencontré par elle, fait bascule et vient buter contre l'une des dents du rochet comme un cliquet de retien. Toutefois, ce levier n'a d'effet qu'au seul moment de la réaction du cliquet d'impulsion. Pour maintenir son effet, lorsque l'électro-aimant E est inerte, un second électro-aimant E′ devient indispensable et se trouve disposé dans le circuit de manière à ne fonctionner qu'après l'électro-aimant E. L'armature de cet électro-aimant auxiliaire porte un ressort R, et ce ressort s'engage entre les dents de la roue à rochet aussitôt que l'électro-aimant E′ qui le commande devient actif. La nécessité de l'intervention de ces deux cliquets mécaniques se comprend aisément dès lors que l'on considère que des cliquets de retien ordinaires, assez forts pour résister à la force d'inertie du rochet, pourraient empêcher l'action du cliquet d'impulsion.

L'interrupteur destiné à faire marcher ce système de compteur fonctionne sous l'influence du balancier d'une

pendule; il est représenté fig. 5 bis, pl. V. Il se compose: 1° d'un ressort R en rapport direct avec l'un des pôles de la pile et fixé en A sur une plaque isolée; 2° d'un butoir T formé par le porte-timbre, qui se trouve à cet effet isolé, et qui communique avec l'électro-aimant E; 3° d'un arc métallique B, porté par la tige du pendule et armé d'une cheville B. Cette tige du pendule est d'ailleurs en rapport avec l'électro-aimant E′, qui est relié au même pôle de la pile que l'électro-aimant E. Voici alors ce qui arrive quand l'appareil est mis en fonction :

Au moment où le balancier atteint sa position extrême vers la gauche, le ressort R touche le porte-timbre, et le courant électrique est fermé à travers l'électro-aimant E qui provoque l'impulsion du rochet. Mais aussitôt qu'il accomplit son oscillation rétrograde, la cheville de l'arc B rencontre le ressort R, l'écarte du porte-timbre T, et par son contact avec lui, renvoie le courant dans l'électro-aimant E′ qui encliquète le rochet, jusqu'à ce que le pendule soit revenu à sa position première.

Le compteur de M. Robert Houdin a fonctionné d'une manière tout à fait satisfaisante pendant la durée de l'Exposition.

Autre compteur de M. Robert Houdin. — Ce compteur est spécialement destiné aux petits cadrans. Il se compose: 1° d'un électro-aimant à répartiteur; 2° d'une roue à rochet, commandant la minuterie par l'intermédiaire d'une vis sans fin; 3° d'une minuterie. La disposition de ces différents organes est indiquée fig. 13, qui représente l'élévation du système répartiteur vu en plan dans la figure 6.

L'interrupteur représenté fig. 7 est disposé de manière à pouvoir couper le courant pendant la nuit, c'est-à-dire pendant les douze heures qui ne sont pas utilisées pour le travail dans les établissements industriels. On réduit ainsi la dépense d'entretien de la pile.

Pour obtenir ce résultat, la roue de compte C de la sonnerie de la pendule porte une goupille *g* susceptible d'être déplacée à volonté, pour être mise à telle ou telle heure. Au-dessous de cette roue de compte, et à portée de la goupille, est fixée une étoile D à six dents portant trois petites goupilles contre lesquelles peut appuyer alternativement, à mesure que l'étoile tourne, un ressort S monté sur une plaque d'ivoire et en relation avec l'un des pôles de la pile. Enfin, deux autres ressorts R et R′, également isolés, permettent le renvoi alternatif du courant dans deux compteurs sans bifurcation de circuit. Voici alors comment l'appareil fonctionne :

Lorsqu'une des goupilles de l'étoile D est en contact avec le ressort S, le courant se trouve alternativement fermé dans les compteurs, car leur circuit se trouve tour à tour complété par le contact des bras B, B′ du pendule dont le ressort de suspension communique à la platine de la pendule, laquelle est elle-même en rapport métallique avec l'étoile D et ses goupilles. Tant que la goupille *g* de la roue de compte n'a pas fait tourner l'étoile en rencontrant une de ses dents, le courant est maintenu dans le circuit des compteurs; mais aussitôt qu'une dent de cette étoile a échappé, le ressort S se trouve séparé de la goupille contre laquelle il était appuyé et coupe le courant jusqu'à ce que la goupille *g*, au bout de douze heures, ait fait échapper de nouveau une dent de l'étoile D, ce qui rétablit le contact du ressort S avec la platine de la pendule.

Pour faire marcher un certain nombre de cadrans électro-chronométriques ou de sonneries sans division du courant, M. Robert Houdin emploie son système rhéotomique que nous avons décrit avec détails, page 301 (1er vol.), et que nous représentons plus loin, page 240, avec des timbres pour montrer comment ces mécanismes peuvent être utilisés.

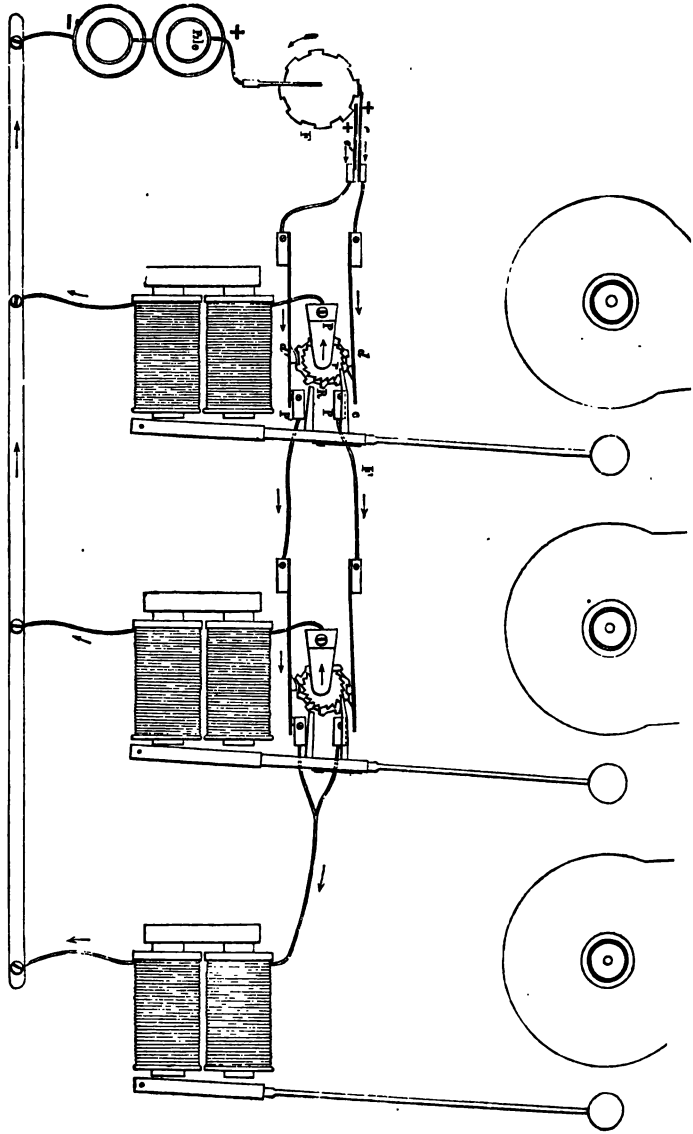


Fig. 2.

Compteurs électro-chronométriques de M. Nollet. — Le compteur électro-chronométrique des horloges-lanternes que M. Nollet a établies à Gand depuis longtemps ne fonctionne que toutes les minutes, et par conséquent son mécanisme a pu être considérablement simplifié, puisqu'alors l'engrenage intermédiaire entre la roue motrice et la minuterie n'existe plus. Ce compteur se compose donc uniquement d'une minuterie, d'une roue à rochet et d'un électro-aimant dont l'armature porte le cliquet d'impulsion. Il est représenté fig. 10, pl. V.

Pour obtenir une plus grande course du cliquet d'impulsion et pour cacher l'électro-aimant dans les bords supérieurs de la lanterne, l'armature A de l'électro-aimant a été prolongée jusqu'au centre du cadran au moyen d'une queue en cuivre O C, terminée par une palette P. Cette palette est introduite entre la platine du compteur et la roue à rochet R qui est fixée sur l'axe de la *chaussée*. A cet effet, elle est percée d'un trou oval T, à travers lequel passe l'axe de cette roue et qui lui permet d'accomplir un mouvement de droite à gauche. Enfin, cette palette porte deux cliquets d'impulsion C, C′, deux buttoirs K, K′ et deux cliquets de retien D, D′. Voici alors ce qui se passe quand à chaque minute le courant se trouve fermé par l'horloge-type :

L'armature A étant attirée par l'électro-aimant, et basculant en O, la palette P est inclinée de droite à gauche. Sous l'influence de ce mouvement, le cliquet C fait avancer le rochet R d'une dent; en même temps, le cliquet s'est reporté en arrière de la dent contre laquelle il était appuyé. Cet échappement est calculé de manière à faire avancer la minuterie d'une demi-minute. Mais lorsque le courant aura été interrompu, l'armature A sollicitée par son ressort antagoniste B, reportera la palette P vers la droite, et dans ce nouveau mouvement le cliquet C′ fera échapper une nou-

velle dent du rochet R, qui fera à son tour avancer la minuterie d'une demi-minute. Pour chaque action de l'interrupteur, il y aura donc un double échappement qui fera avancer le compteur d'une minute et les butoirs K, K′ assureront cet échappement.

Lanternes-Horloges de M. Breguet. — Nous avons déjà vu que les lanternes-horloges avaient été depuis longtemps mises en pratique par M. Nollet à Gand. Aujourd'hui ce genre d'application des compteurs électro-chronométriques paraît être devenu à la mode, et tous les constructeurs, à l'envi l'un de l'autre, s'emblent s'être donné le mot pour perfectionner ou tout au moins étendre cette heureuse et utile application de l'électricité.

Le compteur des lanternes-horloges de M. Breguet est mis en mouvement par une palette aimantée A′, fig. 11, pl. V, oscillant entre deux électro-aimants E, E′ et réagissant sur deux rochets *r*, *r′* par l'intermédiaire d'un ancre KK′ articulé en *x* et d'une fourchette F. Sur les axes de ces rochets sont fixées deux roues RR′ de même diamètre et engrenant l'une dans l'autre. L'une d'elles R commande la minuterie et représente par conséquent le centre des aiguilles. La palette A elle-même, terminée par un levier L qui s'adapte en C dans la fourchette F, est articulé en O de manière a subir à la fois les effets d'attraction et de répulsion des électro-aimants E, E′ et à pouvoir s'incliner à gauche ou à droite, suivant le sens du courant qui traverse ces derniers. Cette disposition évite l'emploi du ressort antagoniste; mais en revanche, elle exige pour interrupteur un commutateur à renversement de pôles.

Ce commutateur est placé sur un axe particulier adapté à l'horloge-type et se trouve commandé par une étoile d'un nombre de dents convenable pour qu'il y en ait une qui échappe toutes les minutes. En employant pour horloge-type une Comtoise, cette étoile a dix dents, et elle se trouve

mandée par la roue du troisième mobile, qui, à cet effet, munie de dix chevilles. Comme cette roue fait un tour elle-même en dix minutes, chaque cheville fait sauter dent de l'étoile toutes les minutes.

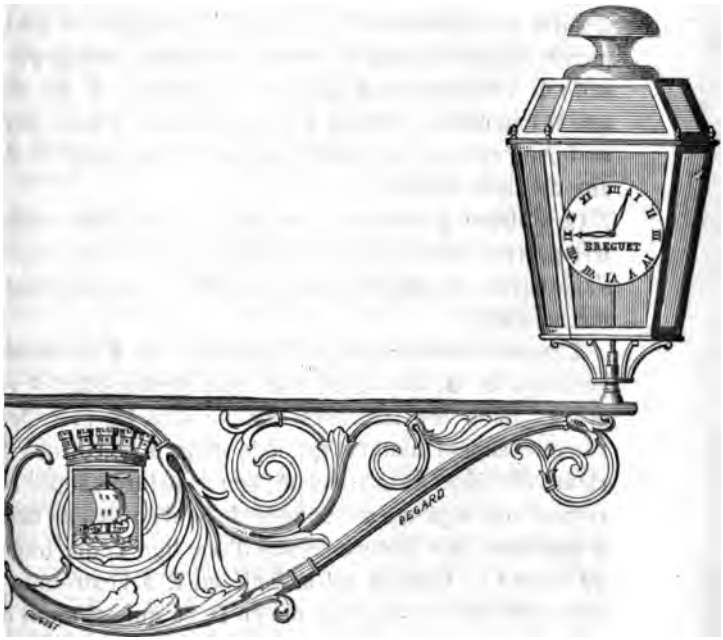


Fig. 3.

e commutateur lui-même se compose d'une espèce de erne ABCD, fig. 12, dont le côté AB est isolé de XY, et dont les chevilles qui ne tiennent aux anneaux CD que d'un seul côté sont alternées par rapport à point d'attache. Trois frotteurs R, R′, R″ complètent le mutateur. En effet, si l'axe XY est en rapport avec le positif de la pile et le ressort R avec le pôle négatif,

il arrive que chaque fois que l'étoile échappe, les ressorts R′ R″ permutent de pôles; par conséquent le courant qu'ils transmetent aux électro-aimants E, E′ se trouve alternativement renversé. Or, comme pour chaque mouvement accompli par l'armature A, une dent de l'un ou l'autre des des deux rochets *r′r′* échappe, et comme ces échappements réagissent dans le même sens sur la minuterie, par suite de l'engrènement des deux roues RR′, il en résulte que les aiguilles avancent à chaque minute d'une manière uniforme et régulière dans le rapport convenable, eu égard aux divisions du temps.

Ce système fonctionne, à ce qu'il paraît, d'une manière très-précise, et prend si peu de place, qu'il est impossible de s'apercevoir, en considérant la lanterne, où sont logés les mécanismes.

Lanterne-horloge de M. Detouche. — Les lanternes-horloges de M. Detouche sont représentées fig. 8 et 9, pl. V. Dans ces lanternes, comme dans les précédentes, l'électro-aimant moteur est logé dans la garniture supérieure des côtés de la lanterne; son armature coudée réagit comme une équerre de sonnette de haut en bas, de manière à imprimer, par l'intermédiaire d'une tige T, une impusion au cliquet C. Celui-ci est articulé en E à l'extrémité d'un levier ED qui pivote lui-même en D, et qui est muni d'une dent rigide A destinée à arrêter le mouvement du rochet R. Comme ce rochet de soixante dents est monté sur l'axe même de la roue de chaussée de la minuterie, et comme d'ailleurs le courant est fermé toutes les minutes par l'horloge-type, il commande directement le mouvement de l'aiguille des minutes. Le ressort agissant sur le cliquet C est en GH et le second ressort S joue le rôle de cliquet de retien.

En général, les lanternes-horloges sont munies de verre dépoli du côté du cadran, ce qui permet de masquer totale-

ment tous les mécanismes et en même temps d'éclairer davantage le cadran.

Horloges électriques de M. Jaspar. — M. Jaspar, fabricant d'instruments de physique à Liége, a proposé, dans une notice adressée à l'Académie de Bruxelles, de modifier ainsi qu'on va le dire sommairement quelques-unes des dispositions adoptées en plusieurs villes de la Belgique (Gand, Bruxelles), pour l'établissement des horloges électriques.

Les points traités dans cette notice sont les suivants :

1° Adoption d'un contact oblique et à glissement en vue d'éviter, sans devoir recourir à l'emploi du platine, les perturbations qui peuvent résulter de l'oxydation des métaux, dans les points où s'effectue le contact entre l'horloge régulatrice et le fil conducteur destiné à transmettre les mouvements de celle-ci aux diverses horloges électriques.

2° Usage de courants alternatifs, en sens opposés, pour remédier, mieux que par l'interposition d'une couche mince de matière isolante, à l'inconvénient de la persistance de l'aimantation dans le fer doux des électro-aimants, après que le courant moteur a cessé d'agir (M. de Vaux, dans un rapport sur la notice de M. Jaspar, doute que l'on puisse, malgré cela, rendre le contact immédiat, attendu qu'une fois l'adhérence contractée, une répulsion électrique pourrait bien ne pas suffire pour la détruire instantanément.)

3° Assurer autant que possible la marche de tout un ensemble d'horloges électriques commandées par une même horloge régulatrice et puisant le fluide à un même fil conducteur, dans le cas où, par accident, par malveillance ou autrement, le fil qui arrive à l'un quelconque des appareils de la série viendrait à faire défaut. M. Jaspar met, à cet effet, le fil principal hors de toute atteinte, et il le continue au passage devant chaque horloge par un fil de platine assez mince et assez long pour offrir au courant une résistance au moins égale à celle de l'horloge elle-même.

4° Dispositions assez simples pour l'échappement et pour la conduite des aiguilles.

5° Détails d'exécution et explication de la marche des appareils.

6° Enfin, M. Jaspar recommande, quand il s'agit de faire fonctionner un certain nombre d'horloges, d'avoir à côté du type régulateur une horloge électrique moins bien partagée que les autres en puissance motrice. Par ce moyen, dit-il, si la pile faiblit, l'horloge *contrôleur* s'arrêtera la première, et l'on sera averti, plus commodément que par des mesures réitérées à l'aide de la boussole, qu'il est temps de ranimer l'action du courant. M. Jaspar donne la préférence à la pile Daniell.

« La notice dont nous rendons un compte succinct, ajoute le rapporteur, est brève et précise; elle n'admet point d'analyse. Nous n'entendons pas garantir le succès ou la nouveauté de tous les moyens qui y sont proposés; nous ne chercherons même pas à établir la supériorité des procédés de M. Jaspar sur les dispositions adoptées dans plusieurs villes, notamment à Gand et à Bruxelles, pour l'organisation d'un système d'horloges électriques : non plus que sur les indications récemment produites à ce sujet par M. Glœsner, dans un ouvrage publié en 1853, sous le titre de *Recherches sur la télégraphie électrique.*

« La question dont il s'agit nous semble trop neuve encore, et l'expérience a jeté jusqu'ici trop peu de jour sur les divers points que comporte sa solution, pour que nous osions nous prononcer à ce sujet. Nous nous bornerons donc à dire que nous voyons quelques idées spéciales dans la notice de M. Jaspar, particulièrement en ce qui concerne les moyens : 1° d'empêcher que la marche de tout un système d'horloges électriques soit compromise si l'une d'elles fait défaut; 2° de s'assurer en tout temps que le courant électrique suffit à la marche des horloges. »

Compteurs à l'italienne. — Certaines horloges d'Italie indiquent l'heure par des chiffres qui apparaissent dans deux guichets placés l'un à côté de l'autre. L'un de ces guichets correspond aux heures, l'autre aux minutes. Ordinairement, les chiffres des minutes ne changent que de cinq en cinq minutes. J'ai cherché, il y a quatre ans, à établir des compteurs électro-chronométriques de ce genre, et pour cela, j'employais des disques très-légers composés d'un cerceau sur lequel était tendue de la mousseline blanche très-fine. Les heures étaient peintes sur l'un de ces disques en chiffres romains, et les minutes étaient peintes sur l'autre en chiffres arabes. J'avais d'abord songé à les faire marcher directement par l'électricité; mais le grand mouvement que devaient accomplir ces disques pour sauter d'un chiffre à l'autre, exigeait une force beaucoup plus grande que celle dont je pouvais disposer. Force a donc été à moi d'employer des mécanismes intermédiaires. Ces mécanismes peuvent être des remontoirs électriques ou des mouvements d'horlogerie. J'ai préféré les remontoirs électriques, et voici comment j'ai disposé mes appareils :

Sur l'axe des disques portant les heures et les minutes, et à une distance suffisante pour qu'on puisse les éclairer par derrière à l'aide d'une lampe ou d'un bec de gaz, j'ai fixé deux roues : l'une A, fig. 16, pl. V, portant douze cames; l'autre B, munie sur sa circonférence de douze chevilles. La roue B, correspondant au disque des minutes, commande l'autre au moyen d'un doigt ou cheville D, qui à chaque tour accompli par elle fait sauter le disque A d'un douzième de sa circonférence. Au-dessus de la 2e cheville de cette même roue B (à partir de la verticale) est placé un bec de cliquet C, terminant une longue bascule C E à laquelle est adapté le remontoir. Un poids mobile P sert à abaisser cette bascule lorsqu'elle est abandonnée à elle-même et à faire tourner le disque B d'un

douzième de sa circonférence. La chute de cette bascule est limitée par un butoir G. Enfin, une fourchette IH, articulée d'un côté à un levier basculant xy et de l'autre à l'extrémité d'un levier coudé IJO, sert, avec une cheville K portée par l'appendice KC de cliquet de retien. Nous avons vu, page 340 (1er vol.), l'importance de ce dernier système d'encliquetage pour amortir le mouvement d'un disque de grand diamètre.

Le remontoir R, composé d'une crémaillère circulaire à dents droites QQ, engrène avec un pignon F sur l'axe duquel est montée la roue à Rochet FR. C'est sur cette roue que réagit l'électro-aimant M du remontoir qui fonctionne, comme nous l'avons vu page 323 (1er vol.), sous l'influence des mouvements du balancier d'une horloge quelconque. L'électro-aimant de détente qui est en rapport avec l'horloge-type, et qui doit soulever toutes les cinq minutes les encliquetages du remontoir, est en M′. Voici maintenant comment fonctionne cet appareil :

Lorsqu'après une période de cinq minutes, le courant se trouve fermé par l'horloge-type, à travers l'électro-aimant M′, la bascule CE tombe en faisant défiler les rouages du remontoir, et le levier coudé IJO, tiré par l'armature de cet électro-aimant M′, soulève la fourchette IH. Le disque B est donc mis en mouvement par l'effet de l'impulsion communiquée par la bascule CE et le contrepoids P. Mais ce mouvement est limité, car au moment où cette bascule arrive en G, la cheville K, qu'elle porte, se présente devant l'une des chevilles de la roue B et empêche celle-ci d'aller plus loin. En même temps, le courant qui s'est trouvé coupé dans l'électro-aimant M′ par l'action de l'interrupteur de l'horloge-type, permet à la fourchette IH de s'enfourcher sur la cheville qui se présente alors devant elle. C'est après cette double réaction mécanique que l'interrupteur de l'horloge-type permet au remontoir de fonc-

ionner par suite d'un contact secondaire qui s'établit à travers un second circuit.

Le disque des heures est à l'état ordinaire embridé par le système d'encliquetage que nous avons décrit page 339 (1er volume). Il reste en repos jusqu'à ce que la cheville D soit venue en prise avec la roue à cames A. Alors cette roue se trouve dégagée de son encliquetage, et peut tourner d'une dent au moment de l'échappement prochain de la roue B qui la commande.

L'interrupteur de l'horloge-type fontionne sous l'influence du mouvement de la sonnerie. Il est déclanché par des chevilles adaptées à la chaussée de la minuterie. Ces chevilles, au nombre de 12, sont disposées de manière à rencontrer le détentillon de la sonnerie, et à mettre celle-ci en mouvement toutes les cinq minutes après chaque échappement de ce détentillon. La roue de compte de la sonnerie est enlevée, et la roue des totaux porte sur son axe une petite excentrique destinée à réagir sur deux leviers-bascules constituant un double interrupteur du courant. A l'état de repos de l'horloge, cette excentrique appuie contre l'un des deux leviers précédents et ferme ainsi le circuit qui correspond à l'électro-aimant du remontoir; mais aussitôt que le mouvement de la sonnerie s'effectue, l'interrupteur coupe ce circuit et le courant se trouve rétabli dans le circuit de l'électro-aimant M'. C'est alors que s'effectue l'échappement des disques A et B.

Il résulte de cette disposition que le courant est presque constamment fermé à travers le remontoir C E. Mais comme le remontage doit se faire en cinq minutes, il faut nécessairement que les rouages du remontoir soient combinés de manière à ce que cette période de temps suffise amplement à ce remontage. Il faut même que la bascule puisse être remontée au-dessus de la hauteur calculée de sa chute, pour que l'on soit toujours sûr que les défauts de

contact n'empêcheront pas l'échappement des disques de se faire.

Compteurs électro-chronométriques de M. Bain. — La seule différence quant au principe mécanique, entre le compteur de M. Bain et ceux que nous avons décrits en commençant, c'est que l'encliquetage au lieu de faire avancer la roue à rochet du compteur quand l'armature de l'électro-aimant est attirée, n'agit sur elle que quand elle s'en éloigne, et cela sous l'influence de son ressort antagoniste, encore celui-ci consiste-t-il simplement dans une lame de ressort qui tient cette armature suspendue comme un pendule à portée de l'électro-aimant. Une vis de pression, bien entendu, est placée de manière à régler l'écartement de ces deux pièces.

L'avantage que présente cette disposition est d'éviter, quand on n'emploie pas de répartiteur, l'impulsion croissante communiquée aux aiguilles au moment où elles doivent s'arrêter. En effet, contrairement à l'action électro-magnétique, le ressort antagoniste agit au maximum de sa force dès le commencement du mouvement de ces aiguilles et l'impulsion qui leur est communiquée va sans cesse en diminuant.

L'interrupteur consiste tout simplement dans un ressort métallique très-flexible fixé sur la tige du pendule et dans un appendice métallique en rapport avec une des branches du courant. L'autre branche correspondant à la tige elle-même du pendule, par son point de suspension, il arrive qu'à chaque oscillation de celui-ci, c'est-à-dire toutes les secondes, le courant se trouve fermé et réagit sur le compteur.

M. Bain a encore employé un autre système de compteurs fondé sur les réactions magnétiques des courants à l'égard des aimants. Dans ce système l'électro-aimant est remplacé par un cadre galvanométrique enveloppant un fort

aimant permanent; ce cadre peut pivoter sur deux pointes qui le tiennent à l'aimant et suivant le sens du courant il incline dans un sens ou dans l'autre. L'encliquetage est alors monté sur l'un des bras oscillants de ce cadre.

Pour faire marcher à la fois un grand nombre de compteurs sans augmenter la force de la pile et la grosseur des fils conducteurs, M. Bain a cherché à faire agir alternativement et isolément le courant sur chacun des cadrans, et pour cela il a fait en sorte que ces différentes réactions s'effectuassent dans l'intervalle séparant chaque mouvement opéré dans le compteur. Pour cela il a adapté à son horloge-type un petit cadran à secondes, sur lequel était appliquée une circonférence d'ivoire incrustée d'autant de plaques métalliques qu'il y avait d'horloges à faire mouvoir. Ces plaques étaient chacune en rapport avec un compteur spécial et un pôle de la pile. L'autre pôle aboutissait à l'aiguille des secondes elle-même. Cette aiguille, passant toutes les minutes au-dessus de toutes ces plaques, pouvait donc, par l'intermédiaire d'un ressort frotteur, renvoyer *successivement* le courant dans les différents compteurs et leur donner l'heure toutes les minutes.

Interrupteur électro-chronométrique de M. Foucault. — Nous avons déjà vu, précédemment, que les inconvénients immenses qui s'attachent au mode de transmission des courants par la tige du pendule et même par la roue d'échappement, avaient conduit M. Paul Garnier à placer l'interrupteur de ses horloges-types sur le mouvement de leur sonnerie, et M. Froment à créer un engrenage spécial marchant synchroniquement avec la roue d'échappement. Ces inconvénients, comme nous l'avons également vu, n'ont pas effrayé plusieurs mécaniciens, puisqu'ils n'en ont pas tenu compte dans les transmetteurs de leur compteurs. Pourtant ces inconvénients sont réels, et pour les faire disparaître avec le genre de transmission adopté par ces derniers mécaniciens,

M. Foucault a proposé un système d'interrupteur beaucoup plus parfait, qu'il décrit en ces termes, dans le journal *la Science*, du 27 août 1855 :

« On a souvent à distribuer, au moyen d'une horloge à rouages, un courant intermittent dans un circuit, pour transmettre à distance un mouvement en concordance avec celui du pendule lui-même. C'est ainsi qu'au moyen d'une horloge centrale on arrive à donner l'heure sur des cadrans placés à distance et disséminés dans toutes les directions.

« Pour les usages de la vie civile, ce genre de télégraphe électrique n'a pas présenté de grandes difficultés parce que les horloges publiques ne sont pas tenues de marcher avec la dernière précision ; mais lorsqu'on veut appliquer au même usage les instruments plus précis connus en horlogerie sous le nom de *régulateurs*, on reconnaît que la distribution électrique est une fonction délicate à réaliser, et qui presque toujours altère la marche des appareils chronométriques. J'ai cependant réussi à faire battre la seconde à un appareil électro-magnétique puissant, au moyen d'un nouveau distributeur, qui n'a pas réagi d'une manière fâcheuse sur l'horloge de précision employée à le faire mouvoir.

« Ce mécanisme consiste essentiellement en deux pièces AB, BC, fig. 14, pl. V, articulées ensemble et figurant une ligne brisée ABC. Des deux extrémités du système, la supérieure s'appuie sur un point fixe et s'y rattache par une partie amincie; l'inférieure, terminée en pointe, repose au fond d'une agate D, creusée d'une cavité conique et portée sur un ressort très-faible D E qui tend à la soulever. Quant à la brisure articulée, elle est reliée au pendule lui-même, et participe à son mouvement oscillatoire au moyen d'une mince barrette horizontale B G. Ce mouvement communiqué fait saillir alternativement la brisure d'un côté et de l'autre en infléchissant dans l'intervalle le système, au moment

précis où le pendule passe par la verticale; il en résulte que l'agate, toujours pressée contre la pointe qui s'y trouve engagée, s'élève et s'abaisse une fois par chaque oscillation. Dans ce mouvement elle rencontre une pointe de platine H, et comme elle est aussi doublée du même métal, ce contact ferme le circuit dans lequel on veut distribuer le courant.

« Il importe bien de remarquer que la pression qui assure ce contact est à son maximum au moment où le pendule passe par la verticale, c'est-à-dire à l'instant précis où il échappe aux actions perturbatrices. Le pendule, à toute autre phase de son oscillation, est troublé dans son isochronisme par le plus léger contact, et ce contact est d'autant plus nuisible qu'il a lieu à une époque plus rapprochée de celle où le mobile arrive à la limite de son excursion. Or, puisqu'il n'y a pas de distributeur électrique sans contact, il m'a semblé que pour l'établir il fallait profiter du seul instant où le raisonnement lui assigne une moindre influence. C'est là en effet ce qui caractérise le nouveau distributeur. »

Système de transmission électro-chronométrique de M. Glaesener. — Toutes les horloges dont nous avons jusqu'à présent parlé, agissent d'après l'influence d'un courant de pile dont la dépense, quelque minime d'ailleurs qu'elle puisse être, ne laisse pas, au bout d'un certain nombre d'années, de faire un total assez considérable. M. Bain, comme nous l'avons vu, avait essayé de remédier à cet inconvénient en employant le courant tellurique ou terrestre, mais cette action est si faible que c'est tout au plus si la marche d'un pendule peut être entretenue. Il en est de même de l'horloge de M. Weare à courants issus de piles sèches. M. Glaesener est entré dans une autre voie et a cherché, pour rendre l'horlogerie électrique plus économique, de tirer parti des courants d'induction fournis

par les aimants persistants. Après avoir longtemps expérimenté, voici comment il a résolu le problème :

Il a disposé à portée d'une forte horloge-type, ou régulatrice, un aimant en fer à cheval, muni sur ses deux branches de bobines d'induction. Cet aimant, fixé verticalement, les branches en haut, portait articulée sur l'un de ses pôles une armature basculante dont le bras, en dehors de l'aimant, était très-long. Un marteau, fixé à l'extrémité d'une autre bascule, pouvait, en retombant sur ce bras, détacher l'armature, et par conséquent donner lieu à un courant d'induction. Pour obtenir ce choc, la bascule portant le marteau a été placée devant celui des rouages de l'horloge qui était convenable, de telle manière que son bras libre pût être rencontré par des chevilles portées par ce rouage. Chaque cheville en passant soulevait donc le marteau, et chaque coup de marteau avait pour effet la naissance d'un double courant d'induction qui réagissait sur les électro-aimants des compteurs. Ainsi, ce mécanisme servait à la fois d'interrupteur et de producteur du courant.

M. Glaesener assure qu'une fois l'horloge-type et les compteurs réglés, les appareils peuvent fonctionner des années entières, sans qu'on ait à y apporter le moindre changement.

On peut comprendre l'importance de ce système si l'on examine qu'il peut être employé dans la télégraphie électrique, et qu'il ne nécessite pas, comme quand on fait usage des machines de Clarke, la présence d'un homme uniquement employé à fournir le courant.

RÉGULATEURS ÉLECTRIQUES DES HORLOGES.

Régulateur de M. Bain. — Le plus souvent les variations considérables qui surviennent dans la marche des horloges, ne proviennent que de l'accumulation de petits retards ou

de petites avances. Une correction qui serait faite à toutes les heures du jour ou même tous les jours à une heure déterminée, empêcherait donc cette accumulation d'irrégularités, et rendrait une horloge sinon parfaitement précise, du moins assez régulière pour les services ordinaires. Pour obtenir cette correction, M. Bain imagina, il y a déjà quelques années, un régulateur électrique au moyen duquel l'aiguille des minutes d'une ou plusieurs horloges se trouvait ramenée à douze heures par l'action d'un électro-aimant. Le mécanisme de ce régulateur consistait dans un électro-aimant M, fig. 17, pl. V, placé verticalement les pôles en bas, et dont l'armature AB portait une fourchette verticale CDE. L'axe de l'aiguille des minutes portait parallèlement à elle un petit levier métallique terminé par une tête conique, et cette tête conique était disposée au-dessus de la fourchette de l'électro-aimant. Tant que cet électro-aimant n'était pas actif, le levier et l'aiguille correspondante pouvaient passer sans obstacle, puisque les branches de la fourchette se trouvaient alors au-dessous de la tête conique du levier. Mais aussitôt que le courant passait à travers l'électro-aimant, la fourchette rencontrait cette tête conique et forçait le système à se placer dans son plan, ce qui ramenait l'aiguille des minutes à l'heure. Comme le courant n'était établi dans cet électro-aimant qu'à la dernière seconde de l'heure de l'horloge régulatrice, on conçoit que par ce moyen tout retard ou toute avance dans l'heure marquée se trouvait sans cesse corrigée et cela sans dépense appréciable d'électricité.

Régulateur électro-solaire de M. Th. Du Moncel. — Dans le système précédent, les corrections dans la marche des horloges dépendent d'un régulateur-type dont la marche est regardée comme irréprochable. Or, un pareil régulateur est toujours d'un prix élevé. Cette considération, jointe à la difficulté de régler les horloges dans les lieux où ces

régulateurs manquent, m'ont fait rechercher le moyen d'obtenir de la part d'une horloge ordinaire une régularisation basée sur la marche du soleil. En un mot, j'ai cherché à combiner les indications du cadran solaire avec celles d'une horloge ordinaire.

Pour résoudre ce problème, plusieurs conditions étaient indispensables à réaliser. Il fallait : 1° que l'action solaire à un moment donné pût exercer un effet électrique assez énergique pour réagir sur un mécanisme d'horlogerie; 2° que le système employé pour traduire électriquement l'influence solaire pût être dans les mêmes conditions par tous les temps; 3° que le système électrique pût réagir instantanément sur les aiguilles de l'horloge sans troubler la marche du mécanisme; 4° que l'appareil fût d'une construction assez simple pour être économique et facilement applicable. Voici comment j'ai résolu le problème :

J'ai placé l'un à côté de l'autre sur une même planche ABCD, fig. 1, pl. VII, deux thermomètres à tube ouvert EFG, HIJ, réglés le plus exactement possible l'un par rapport à l'autre. De pareils thermomètres s'obtiennent en les faisant moitié à l'alcool, moitié au mercure. Comme l'alcool se dilate plus que le mercure, il devient facile de corriger les différences qui pourraient exister dans leur marche, en introduisant dans la boule de celui qui se dilate le moins assez d'alcool pour atténuer la différence. D'un autre côté, les thermomètres ainsi construits présentent l'avantage de fournir des degrés de dilatation assez grands pour qu'on puisse faire leur tube d'une certaine grosseur. Dans ceux de l'appareil en question, le mercure occupe toute la partie inférieure des tubes jusqu'aux lignes *ab-cd* qui correspondent à une température de 10 degrés. L'alcool remplit les boules E*a*, H*d*. Ces thermomètres ont été recourbés pour qu'ils ne donnent pas à l'appareil des dimensions trop considérables.

L'un des deux thermomètres EFG, porte un flotteur de platine *b* soudé à un fil du même métal assez gros pour être parfaitement rigide. Ce fil après s'être recourbé deux fois à angle droit, présente son extrémité libre *e* au même niveau que le flotteur *b*; toutefois il est soutenu par un contre-poids P attaché à l'extrémité d'un fil de soie enroulé sur deux poulies très-mobiles et de grand diamètre X et Y. Le second thermomètre HIJ est placé de manière que l'extrémité du fil de platine dont nous venons de parler puisse s'enfoncer dans son tube et se trouver à un millimètre environ de la surface du mercure dans ce tube. Enfin un fil de platine soudé dans les boules de ces thermomètres, permet d'établir une liaison avec le mercure qu'elles contiennent.

En face de la boule oblongue du thermomètre HIJ que nous appellerons transmetteur, se trouve fixée, sous un angle convenable, une lentille cylindrique à court foyer, et l'appareil entier, placé sur un petit pupitre à crémaillère, est exposé au midi, de manière que le plan, conduit par la ligne focale de la lentille et l'axe du thermomètre correspondant, soit placé exactement dans le plan du méridien. Tel est, sauf quelques dispositions particulières dont nous allons démontrer l'importance, l'appareil destiné à réagir sur l'organe électrique de l'horloge.

Pour en comprendre le jeu, il suffit d'observer que, quelle que soit la température de l'air ambiant, une distance de 1 millimètre existe toujours entre la pointe *e* du fil de platine et le mercure du thermomètre HIJ; car à mesure que la colonne de mercure s'élève ou s'abaisse, la pointe de platine recule ou avance, conduite qu'elle est par le mercure du deuxième thermomètre. Il en résulte que quand, chaque jour à midi, les rayons solaires se trouvent concentrés sur la boule du thermomètre transmetteur par la lentille, la marche synchronique des deux thermomètres

est rompue et le mercure du thermomètre HIJ rencontre la pointe de platine. Un courant électrique se trouve alors fermé, et ce courant peut réagir sur un régulateur électrique d'horloge, dont nous indiquerons à l'instant la disposition. Maintenant on comprend facilement que la ligne de lumière projetée par la lentille, bien que n'étant à son maximum d'intensité calorifique que quand le soleil passe au méridien, pourrait cependant réagir sur le thermomètre transmetteur et fournir une fermeture de courant anormale, si on ne prenait pas de précautions particulières. Ces précautions consistent simplement à recouvrir les deux thermomètres d'une planche peinte en blanc ou d'un morceau de porcelaine assez épais dans lequel on a ménagé au-dessus de la boule de chaque thermomètre une fente d'environ 3 millimètres de largeur et de la longueur de ces boules. Comme cette fente pour le thermomètre transmetteur correspond à la ligne focale de la lentille, le pinceau de lumière projeté ne peut parvenir à la boule de ce thermomètre qu'au moment précis où le soleil passe au méridien. D'un autre côté, afin que la concentration des rayons lumineux exerce un effet plus intense, la boule des deux thermomètres doit être peinte en noir. Enfin, si la distance de 1 millimètre entre le fil de platine et le mercure du thermomètre transmetteur ne suffisait pas pour échapper aux petites variations qui peuvent exister dans la marche des deux thermomètres, il faudrait raccourcir le fil de platine jusqu'à ce que l'on soit assuré de leur bon fonctionnement. Toutefois il ne faut pas perdre de vue que ce raccourcissement ne se fait qu'au préjudice de la sensibilité de l'appareil. Avec des appareils convenablement réglés, l'action électrique a lieu de 25 à 40 secondes (suivant l'intensité des rayons solaires) après le passage du soleil au méridien.

La figure 2, pl. VII, représente la planche écran avec ses

rainures et la lentille. Quant au pupitre sur lequel l'appareil est disposé, il doit porter une poulie Y disposée de manière à être toujours verticale, quelle que soit son inclinaison. Ce pupitre est nécessaire pour mettre l'appareil sous une inclinaison convenable, suivant les saisons, et sa position peut être réglée par rapport au méridien au moyen du gnomon.

Le régulateur de l'horloge, bien que n'ayant qu'une simple fonction à remplir, nécessite pourtant la présence d'un mécanisme rhéotomique assez compliqué dans sa combinaison, mais qui, par le fait, est très-simple dans son exécution. Pour comprendre la nécessité de ce mécanisme, il suffit d'observer que la fermeture du courant produite par l'appareil précédent se trouve prolongée pendant un certain temps qui peut varier d'un quart d'heure à une demi-heure. Or, si ce courant, qui réagit en ramenant les aiguilles de l'horloge à midi, n'était pas coupé, une fois ce résultat obtenu, l'heure ne serait plus indiquée qu'au bout d'un quart d'heure ou d'une demi-heure ; dès lors le régulateur ne serait plus un régulateur, mais au contraire un dérégleur. Il faut donc un mécanisme qui fasse en sorte :

1° Que le courant soit coupé après la réaction électromagnétique ;

2° Que la durée de la fermeture de ce courant soit cependant suffisante pour que l'action mécanique exercée sur les aiguilles ait le temps de se faire avec sûreté ;

3° Que le circuit après avoir été coupé se trouve reconstitué deux ou trois heures après, pour remettre l'appareil en état de subir une nouvelle réaction de la part de l'appareil transmetteur.

D'abord, pour ramener les aiguilles suivant la verticale, j'emploie un moyen analogue à celui de M. Bain ; seulement au lieu de faire réagir directement un électro-

aimant sur les aiguilles, ce qui demanderait une certaine force, j'emploie à cet usage le mouvement de la sonnerie de la pendule ou de l'horloge. L'électro-aimant qui commande cette action peut être placé sur telle ou telle partie de la pendule qu'il convient. Dans la fig. 3 il est fixé sur le haut de la pendule, et son armature A réagit, par l'intermédiaire d'un crochet AB, sur un levier coudé CDE à l'un des bras duquel E est articulée une tige qui est accrochée sur la détente R, fig. 4, de la roue de compte de la sonnerie. Cette roue de compte au lieu d'être inégalement divisée comme dans les pendules ordinaires, porte trente dents taillées comme si deux coups devaient être sonnés à chaque heure. Sur les dents de cette roue appuie un ressort FG isolé de la platine de la pendule et en rapport métallique avec l'électro-aimant. Également à portée de ces dents se trouve un petit crochet H soudé sur le noyau du marteau de la sonnerie qui a été enlevé et qui a été remplacé par une tige IJK, sur laquelle appuie un levier LN dont nous allons voir à l'instant l'usage.

La figure 5 représente le devant de la pendule. LO est un axe horizontal qui porte une longue dent recourbée S, et sur lequel est fixé le levier LN dont nous venons de parler. Cet axe est mobile sur deux coussinets O, O′, de telle manière que le levier LN étant soulevé, la dent S appuie sur une oreille QR placée à l'extrémité d'un ressort PQ. Cette oreille, découpée comme l'indique la figure, est légèrement repoussée en dehors à l'état normal et peut être mobile de bas en haut par l'effet de l'articulation du ressort PQ en P. Elle porte en Q une goupille assez courte pour ne pas rencontrer à l'état normal la branche UV du détentillon UVX, et le nez I qui la termine peut, dans certains cas, quand par exemple elle est infléchie en dedans de la pendule, être rencontré par une goupille J fixée sur la roue des heures de la minuterie. Au-

dessous de cette oreille se trouve un petit crochet T adapté à l'extrémité d'un ressort KT, qui est destiné à maintenir infléchie l'oreille QR une fois que celle-ci a été, par une cause quelconque, repoussée vers la platine de la pendule. Tel est le mécanisme rhéotomique dont nous allons maintenant étudier les fonctions.

Au moment où le courant est fermé par le thermomètre transmetteur, la détente R, fig. 4 du mouvement de la sonnerie, est soulevé par le levier coudé CDE, fig. 3, auquel elle est reliée et sur lequel l'électro-aimant réagit par l'intermédiaire du crochet AB. Par l'effet de ce soulèvement, la roue de compte entre en mouvement, le ressort FG, fig. 4, frotte sur le dessus de la dent de cette roue de compte, contre laquelle il était appuyé primitivement et le courant reste ainsi fermé jusqu'à ce que le ressort ait échappé cette dent. Comme la durée de cet échappement est d'environ six secondes, l'effet mécanique du régulateur a tout le temps de se produire. Les deux premières conditions du mécanisme rhéotomique sont donc ainsi remplies. Quant à la troisième, elle était beaucoup plus délicate à réaliser, car il fallait que le mécanisme appelé à la produire ne fût influencé qu'après une *action effectuée* du régulateur, sans quoi il aurait pu arriver que dans les temps couverts où l'appareil régulateur n'aurait pas fonctionné, le rhéotome eût été mis en action, et au lieu de préparer le circuit pour la prochaine action du régulateur, il l'eût coupé mal à propos.

C'est à cet effet qu'a dû être adapté le mécanisme placé à portée de la minuterie que nous avons décrit précédemment. Pour en comprendre le jeu il suffit d'observer que toutes les fois que la détente R, fig. 4, est soulevée, le crochet H se trouve rencontré par l'une des dents de la roue de compte. Ce crochet fait incliner la bascule I J K dans le sens de la flèche, et le levier L N s'incline de bas

en haut. Cette inclinaison a pour résultat de faire appuyer la dent S, fig. 5 (de l'axe OO'), sur l'oreille QR, et celle-ci se trouve alors accrochée par le crochet T. Par suite, la cheville Q a été poussée au-dessous du bras VU du détentillon. Après que l'action du régulateur s'est accomplie, le mécanisme rhéotomique reste dans cette position sous l'influence du crochet T qui maintient l'action produite. Mais lorsqu'au bout d'une heure ou deux (on peut disposer l'appareil comme on le veut à cet égard) la cheville J de la roue des heures vient rencontrer le nez I de l'oreille Q R, celle-ci est soulevée successivement de bas en haut, et au bout de quelques minutes la dent du crochet T tombe dans une coche *a b*, et dégage l'oreille qui se trouve alors repoussée en dehors. Mais dans ce mouvement de soulèvement de l'oreille QR, la cheville Q a également soulevé le bras U V du détentillon, et celui-ci a dégagé de nouveau le mouvement de la sonnerie, de telle sorte que le ressort F G, fig. 4, qui n'était plus en contact avec la roue de compte, est replacé contre une nouvelle dent de cette roue, et dès lors le circuit se trouve complété pour la prochaine action du transmetteur. L'oreille Q R, fig. 5, ayant été ainsi dégagée, la cheville Q ne touche plus le détentillon, en sorte que si le régulateur ne fait pas son effet par suite d'un temps couvert, la goupille J, au moment de son passage devant le nez I ne réagit plus sur le détentillon. Conséquemment, le circuit se trouve toujours complété jusqu'à ce que le rhéotome ait été mis de nouveau en fonction par l'électro-aimant. Voici maintenant en quoi consiste le régulateur de l'horloge :

Sur l'axe de la roue des heures de la minuterie est adaptée à frottement libre, et contre une portée, une roue R, fig. 5 bis, montée sur un axe creux et portant, en un point de sa circonférence, une longue tige d'acier qui peut atteindre jusqu'à l'aiguille des heures par une ouverture circulaire

ménagée sur le cadran. Cette roue est en temps ordinaire maintenue, contre la partie qui la soutient, par une fourchette à bascule ABC sous le bras AD de laquelle se trouve adaptée une lame de ressort ; mais elle peut être poussée en avant par cette même fourchette quand une cheville E, portée par l'axe LO du rhéotome dont nous avons déjà parlé, vient appuyer en A. Comme cette roue R engrène avec une autre R′ qui est sollicitée à tourner par un petit barillet ou un contre-poids P, il importe, pour que cet engrènement subsiste pendant les mouvements d'avance et de recul de la roue R, que celle-ci ait une denture assez épaisse. En temps ordinaire, une cheville *a*, fixée sur la face postérieure de la roue R, vient buter contre la branche DC de la fourchette et arrête le mécanisme ; mais quand cette branche se trouve soulevée à l'heure de midi, par suite du jeu du rhéotome qui fait alors appuyer la cheville E sur le bras AD, la roue R devient libre et tourne sous l'influence de la roue R′, jusqu'à ce qu'une deuxième cheville *b* fixée sur la face antérieure ait rencontré le butoir G. Dans ce mouvement, la longue cheville H, portée par cette même roue R, a rencontré les deux aiguilles de la pendule qui sont montées à frottement doux sur leur axe respectif, et les a ramenés très-près de l'heure de midi, point auquel elles sont ramenées définitivement quand la cheville *b* échappe le butoir G. Cet échappement a lieu quand le jeu du rhéotome est terminé, car alors la roue R, qui avait été poussée en avant par la fouchette ABC, se trouve retirée en arrière par cette même fourchette, mais cette fois sous l'influence du ressort agissant sur le bras AD. Ce mécanisme n'est, comme on le voit, qu'un échappement à cheville renversé. Pour assurer la position des aiguilles devant l'heure de midi, une deuxième bascule LJ, munie d'une cheville J et basculant en K, se trouve infléchie par un levier coudé LNM adapté à l'armature de

l'électro-aimant de la pendule, et fait avancer la cheville J devant les aiguilles au moment où cette armature est attirée.

Autre système de régulateur solaire. — L'appareil transmetteur du régulateur précédent quoique très-simple théoriquement, est d'une telle difficulté d'exécution et exige une si grande précision, qu'il est impossible de le considérer comme un appareil pratique. Après y avoir longtemps réfléchi, j'ai pensé qu'il valait mieux recourir à des combinaisons plus compliquées pourvu qu'elles fussent plus sûres et qu'elles attribuassent à l'appareil des fonctions moins délicates à remplir. En conséquence, j'ai combiné mon instrument de la manière suivante.

Dans ce nouveau système, au lieu de deux thermomètres marchant synchroniquement, ce qui est bien difficile à obtenir, je n'en emploie plus qu'un, encore ce thermomètre est-il d'une très-petite capacité de réservoir, pour qu'il soit plus sensible. Au-dessous de ce thermomètre, et plongeant dans son tube, sont adaptés, à l'extrémité d'une crémaillère verticale, deux fils de cuivre recouverts de soie et tressés ensemble de manière à former une petite tige la plus droite possible. Ces deux fils fins se terminent par deux petits bouts isolés de fils de platine dont l'un dépasse l'autre d'environ un millimètre et demi. La crémaillère A B, fig. 6, pl. VII, à laquelle sont attachés ces fils, est mobile dans deux coulisseaux et peut aisément tomber par l'effet de son propre poids quand une roue R, avec laquelle elle engrène, se trouve, par une circonstance particulière que nous analyserons, éloignée d'elle.

L'axe de cette roue R pivote d'un côté dans une fontaine pratiquée sur une platine métallique incrustée dans le bâti de l'appareil, de l'autre dans un trou oblong *ab* sur le côté *a* duquel il est maintenu à l'état normal par un ressort S. Sur cet axe est adapté un anneau libre fixé à l'extrémité d'une tige *a* C qui est articulée sur l'armature C d'un élec-

tro-aimant D. Cet électro-aimant est en rapport avec un interrupteur adapté devant la roue des heures de la minuterie de l'horloge régulatrice, et qui est destiné à le faire réagir une demi-heure avant l'heure de midi.

Le barillet E d'un mouvement de sonnerie de pendule ordinaire, auquel on a enlevé la roue de compte, le marteau et le détentillon, engrène avec la roue R et se trouve commandé par un électro-aimant E dont l'armature bute à l'état normal contre la cheville de la roue des délais et contre un ressort I mis en rapport avec le circuit de l'électro-aimant D. Cet électro-aimant E est interposé dans un circuit qui est complété par le mercure du thermomètre et le plus long des deux fils de la crémaillère A B. Enfin au-dessus du thermomètre est adaptée une planche épaisse percée à la hauteur de sa boule d'un trou allongé, et au-dessus de ce trou est fixée, à l'extrémité d'un bras articulé O M, une lentille convexe O que l'on dispose de manière à faire converger les rayons solaires sur la boule du thermomètre au moment du passage de cet astre au méridien. Bien entendu la boule du thermomètre doit être peinte en noir, et la planche qui recouvre le thermomètre doit être peinte en blanc. Voici maintenant comment fonctionne cet appareil.

Une demi-heure avant midi, l'électro-aimant D reçoit de l'horloge régulatrice un courant qui, en le rendant actif, désengrène la crémaillère A B. Celle-ci aussitôt s'abaisse, et bientôt le plus long des deux fils qui la terminent rencontre le mercure du thermomètre; le courant se trouve donc alors établi à travers l'électro-aimant E et en même temps interrompu à travers l'électro-aimant D. En effet, le premier électro-aimant E, en attirant son armature, opère la disjonction de cette armature avec le ressort I. Or, comme le circuit n'est complet à travers l'électro-aimant D qu'à la condition de ce contact, le courant est par le fait entièrement reporté sur l'électro-aimant E. D'un autre côté, cette attraction de l'électro-aimant E ayant rendu libre le

mouvement d'horlogerie, la crémaillère A B se trouve remontée, lentement, il est vrai, jusqu'à ce que le fil de platine immergé soit sorti du mercure, auquel cas le courant ne passant plus dans l'électro-aimant E, le mouvement est arrêté. Bien qu'alors le circuit de l'électro-aimant D se trouve complété, la roue R reste engrenée avec la crémaillère, car l'interrupteur de l'horloge régulatrice a eu le temps d'opérer une disjonction du circuit pendant le temps de l'activité de l'électro-aimant E.

Tant que le mercure ne rencontre pas les fils de la crémaillère, l'appareil reste en repos. Mais si, par l'élévation de la température, le mercure monte, une nouvelle ascension de la crémaillère a lieu. Comme les transitions de la température ne sont jamais brusques, le mercure n'atteint jamais, à l'état normal, que le plus long des fils de platine. Mais lorsque le soleil au moment de son passage au méridien concentre ses rayons sur l'appareil, le mercure s'élève brusquement dans le tube; et comme le mouvement d'ascension de la crémaillère A B est plus lent que cette ascension du mercure, il arrive un instant où le deuxième fil de platine est rencontré, et c'est alors que le courant réagit sur les aiguilles de l'horloge régulatrice.

Après cette réaction, la crémaillère se trouve élevée au point le plus haut de sa course et ne peut plus redescendre, car après le passage du soleil au méridien, le mercure commence à baisser et dès lors aucune réaction n'est plus produite sur l'électro-aimant D jusqu'au lendemain, où les mêmes fonctions de l'appareil se renouvellent.

On comprend aisément qu'avec ce système les indications sont beaucoup plus précises qu'avec le premier que nous avons étudié, puisque le thermomètre employé peut être beaucoup plus sensible, et que le mercure n'a à opérer aucune fonction mécanique.

Accélérateurs et retardateurs des horloges-types. — Lorsqu'une horloge-type se trouve en retard ou en avance,

et que pour ne pas induire en erreur les localités où sont distribués les cadrans électro-chronométriques, il devient nécessaire de la remettre à l'heure, on comprend qu'il ne suffit pas de déplacer les aiguilles de cette horloge-type, car ce déplacement ne serait pas reproduit par les compteurs avec lesquels elle correspond. Il est donc nécessaire d'adjoindre à l'horloge-type des accélérateurs ou des retardateurs qui réalisent promptement l'effet voulu tout en faisant participer les compteurs à cette accélération ou à ce retard de l'horloge-type.

Pour réaliser cet effet, il suffit de placer latéralement au pendule de cette horloge deux autres pendules ou masses oscillantes de longueur très-différente. Ces masses oscillantes pourront être reliées à volonté à la tige du pendule par un crochet, et par conséquent pourront participer au mouvement de celui-ci. Celle de ces masses oscillantes dont la tige sera plus courte que celle du pendule de l'horloge aura pour effet de remonter le centre de gravité du système oscillant, et par conséquent d'accélérer son mouvement. L'autre masse, au contraire, étant plus longue, abaissera le centre de gravité et retardera par suite le mouvement du même système. Si les longueurs de ces pendules sont convenablement calculées, on peut arriver facilement à faire avancer ou retarder l'horloge régulatrice d'une seconde pour cent secondes, ce qui est suffisant pour les horloges-types d'une grande ville, dans lesquelles l'on n'a pas dû épargner les frais pour en faire de bons régulateurs. L'Observatoire de Paris possède des accélérateurs et retardateurs de cette espèce. (Voir fig. 15, pl. VII.)

Moyen de soustraire les horloges-types à l'action perturbatrice des variations de la température, proposé par M. Faye. — La dilatation plus ou moins grande des métaux sous l'influence de la chaleur est, comme on le sait, une des grandes causes de l'irrégularité des horloges, puisqu'en allongeant

ou en raccourcissant la tige de leur pendule elle les fait retarder ou avancer. Tous les systèmes compensateurs qu'on a jusqu'à présent employés n'ont jamais résolu complétement le problème, quelques perfectionnés qu'ils aient pu être. En conséquence, M. Faye prétend qu'au lieu de combattre directement les variations du pendule, on ferait mieux de chercher le moyen de les supprimer. Ce moyen pourrait être de placer une horloge-type assez profondément en terre pour que les variations de température ne soient plus sensibles. Or cette profondeur n'est pas considérable, puisque les caves de l'Observatoire de Paris n'ont pas fourni, depuis soixante ans, 1/10 de degré de différence entre les températures observées aux différentes heures du jour et aux différentes saisons. Une horloge qui s'y trouverait donc placée dans des conditions de sécheresse convenables, n'aurait plus besoin de pendule compensateur et pourrait, à l'aide de fils conducteurs et de compteurs électro-chronométriques, renvoyer l'heure exacte à toutes les horloges astronomiques de l'Observatoire.

Cette idée, émise en 1849 par M. Faye, a été réalisée, comme nous le verrons plus tard, par M. Liais au moyen de son horloge électrique. Une horloge-type ordinaire n'aurait jamais pu fournir de bons résultats à cause de l'humidité considérable de ces sortes de caves.

Conséquences que l'on peut déduire de la disposition des systèmes précédents pour la construction de bons compteurs électro-chronométriques. — Si l'on résume par la pensée les différentes raisons qui ont inspiré les inventeurs dans les différents systèmes de compteurs électro-chronométriques que nous venons de passer en revue, on ne tarde pas à conclure que pour construire un bon compteur, il faut :

1° Qu'en outre du cliquet d'impulsion et du cliquet de retien, la roue de compte (à rochet ou à chevilles) soit enrayée par un troisième cliquet que nous appellerons *Cli-*

quet d'arêt, afin que l'impulsion si prompte communiquée à cette roue ne fasse pas sauter plusieurs dents à la fois, et que l'on puisse par conséquent diminuer la force des ressorts réagissant sur les cliquets d'impulsion et de retien;

2° Que ce cliquet d'arrêt soit mis directement en action par l'armature de l'électro-aimant, et oppose un obstacle rigide au mouvement de la roue de compte;

3° Que le cliquet de retien soit également mis en action sous l'influence du recul de l'armature de l'électro-aimant, afin de supprimer le ressort de ce cliquet, qui est toujours un obstacle considérable à vaincre dans les grands compteurs;

4° Que l'armature de l'électro-aimant réagisse sur le cliquet d'impulsion par l'intermédiaire d'un répartiteur, afin d'amortir le choc dû à la précipitation et à l'accroissement de la force électro-magnétique, à mesure que l'armature s'approche des pôles de l'électro-aimant;

5° Que le cliquet d'impulsion agisse toujours tangentiellement au mouvement du rochet;

6° Que l'interrupteur réagissant sur les compteurs soit le plus indépendant possible du mouvement de l'horloge-type et surtout du balancier de cette horloge;

7° Que dans le cas où l'on est obligé de relier cet interrupteur au pendule, son jeu ne s'opère qu'au moment du passage du pendule à la verticale;

8° Que l'horloge-type soit munie d'accélérateurs et de retardateurs, afin qu'on puisse corriger promptement les erreurs qui pourraient résulter de l'irrégularité de la marche de cette horloge-type.

Sonneries à transmission électro-chronométrique. — De même qu'une horloge-type peut répéter l'heure sur un nombre indéterminé de cadrans, de même une sonnerie-type peut réagir sur d'autres sonneries et même sur des

cloches, de manière à leur faire répéter les heures qu'elle sonne.

Dès l'année 1849, M. Paul Garnier avait imaginé un système de ce genre ; mais ne l'ayant alors combiné que dans l'hypothèse de l'emploi de piles à acides, cette application n'avait pris aucune extension et était demeurée à l'état d'essai. Depuis, M. Paul Garnier a repris cette première idée, et, en la perfectionnant, il est parvenu à résoudre le problème d'une manière pratique.

Dans ce système de sonnerie électro-chronométrique, l'appareil transmetteur est une simple comtoise dont la verge du marteau porte à sa partie supérieure un appendice A, fig. 11, Pl. VII, qui vient presser sur un ressort B quand l'horloge sonne, jusqu'à ce que ce ressort en rencontre un autre B′ et que le contact de ces deux ressorts ait livré passage au courant à travers l'électro-aimant A, fig. 12. A chaque coup frappé par ce marteau, il y a donc une fermeture de courant opérée, et par suite un coup sonné au récepteur.

Ce récepteur se compose d'un électro-aimant A, fig. 12, fixé à une potence B, et dont l'armature C est pourvue à l'un de ses bouts C′ de deux goujons coniques ajustés dans des trous sur le pôle correspondant de l'électro-aimant, de manière à former une sorte de charnière. Sur l'autre bout C de cette armature s'articule le pied-de-biche E, maintenu par le guide F et un ressort *f* fixé à l'armature C. Enfin à portée du pied-de-biche E se trouve le bec H de la levée du marteau G de la sonnerie.

A chaque coup de marteau frappé par la comtoise, le ressort B venant toucher B′, le courant réagit sur l'électro-aimant A, et l'armature C est attirée. Celle-ci, en se soulevant entraîne le pied-de-biche, et le marteau vient tomber sur le timbre ; mais aussitôt que l'interruption du courant a lieu, l'armature se détache et vient se mettre en position pour frapper un nouveau coup.

Pour faire fonctionner cet appareil, M. Paul Garnier emploie une pile d'une nouvelle disposition qui, d'après l'auteur, serait très-écomique, très-constante, et produirait cependant beaucoup de force. Avec cette pile, en effet, il serait parvenu à faire réagir un marteau ne pesant pas moins d'une livre sur un timbre assez fort. C'est, comme on le voit, un acheminement aux sonneries de grosses cloches. Nous ne devons pas toutefois oublier de rappeler ici que M. Robert Houdin, au moyen de sa pile plongeante que nous avons décrite, page 348 (1er vol.), est arrivé à peu près aux mêmes résultats.

Sonneries électriques à répétition des heures.— Le moyen jusqu'à présent employé pour savoir l'heure au milieu de la nuit, est de faire sonner une montre ou une horloge à répétition. Or, il arrive le plus souvent qu'on n'a à sa disposition ni l'une ni l'autre. D'un autre côté, l'établissement d'horloges à répétition dans les différentes chambres d'une maison serait une dépense d'autant plus considérable, que, devant être placées à l'intérieur du lit et à portée de la main, ces horloges ne pourraient remplacer les pendules ordinaires qui sont, pour une cheminée, un ornement aussi bien qu'un meuble utile. Il en résulte donc que la plupart du temps on est obligé de se passer d'une indication précieuse, surtout pour ceux qui sont sujets aux insomnies.

En faisant intervenir l'électricité, l'application de ces appareils à répétition peut être généralisée, et devient très-économique, comme on va pouvoir en juger.

Supposez qu'à la bascule de détente de la sonnerie d'une comtoise soit adaptée une armature équilibrée d'autre part par un contre-poids. Supposez qu'à portée de cette armature soit fixé un électro-aimant, dont le fil sera interposé dans un circuit particulier allant aux différentes chambres de la maison. Enfin, supposez que la tige du marteau de la sonnerie porte un ressort réagissant par pression sur un

interrupteur spécial de courant. On comprendra facilement que, fermant le courant dans l'une ou l'autre des chambres, on fera agir l'électro-aimant de l'horloge, et celui-ci, en soulevant la détente de la sonnerie, la mettra en mouvement. L'heure, sera donc répétée alternativement avec les demi-heures à chaque fermeture du courant. Mais le marteau, en réagissant lui-même sur l'interrupteur spécial, dont nous avons parlé, peut, à chaque coup qu'il frappe, fermer le courant dans un circuit correspondant à des sonneries électriques placées dans les différentes chambres, et celles-ci, à leur tour, peuvent, par la répétition des coups, indiquer l'heure. Tel est le principe des sonneries électriques à répétition.

Dans la mise à exécution de ce système de sonneries, plusieurs détails secondaires doivent être pris en considération. Il faut d'abord que la répétition de l'heure ne se fasse que pour la chambre qui a sonné et non pour les autres. Il faut, en second lieu, que les sonneries ne fassent pas beaucoup de bruit, afin de ne pas réveiller les voisins. En conséquence, voici comment le système entier doit être disposé.

Un bouton transmetteur, dont je vais indiquer la construction, est placé dans l'alcôve, à distance convenable, pour être facilement touché. Il est en rapport avec trois fils : l'un qui va directement à l'un des pôles de la pile, en passant par le ressort interrupteur de l'horloge; un autre qui aboutit à l'électro-aimant de la détente de l'horloge; enfin, un autre qui est en rapport avec la sonnerie électrique placée, je suppose, sur la cheminée de l'appartement. Cette sonnerie et l'électro-aimant de l'horloge sont d'ailleurs eux-mêmes en rapport avec l'autre pôle de la pile par un fil commun.

Le bouton transmetteur se compose d'un disque en bois, sur lequel sont incrustées quatre petites plaques de cuivre.

Un arc métallique, dont la partie moyenne est en bois, appuie sur ces quatre plaques; mais il peut être tourné, de manière à ne plus se trouver en contact avec elles. Il en résulte que, si les deux plaques de gauche sont en rapport avec le circuit de la sonnerie électrique et que les deux plaques de droite correspondent au circuit de la détente de l'horloge, on pourra fermer et ouvrir en même temps les deux circuits par un simple mouvement de la bascule. La fermeture de l'un de ces circuits aura donc pour effet de lever la détente de l'horloge, et la fermeture de l'autre dirigera sur la sonnette électrique de l'appartement qui doit répéter l'heure, les interruptions du courant faites par le marteau du timbre de l'horloge. Il faudra seulement avoir soin de pousser suffisamment la bascule pour que la fermeture du circuit de l'électro-aimant de détente ne soit que passagère. Sans quoi l'heure serait répétée indéfiniment. Du reste, deux butoirs peuvent limiter la course de cette bascule.

Les sonneries électriques les plus convenables pour ce genre d'application sont celles de M. Paul Garnier que nous venons d'étudier. Inutile de dire que, par une disposition particulière que nous étudierons par la suite, on peut employer ces sonneries comme *réveils* ou comme cloches de signal.

Application des compteurs électriques au règlement des horloges. — En faisant réagir le pendule d'une horloge qu'on aurait à régler sur un interrupteur de Foucault, mis en rapport avec un compteur électrique pouvant enregistrer plusieurs centaines de fermetures de courant, on arriverait à régler assez promptement cette horloge. En effet, sachant le nombre de vibrations qui doivent être accomplies par un pendule bien réglé dans un temps donné, il suffirait de comparer à ce nombre celui des vibrations enregistrées sur le compteur pendant ce même temps pour connaître dans quel rapport on doit allonger ou raccourcir le pendule afin d'obtenir le règlement cherché.

Le même moyen pourrait encore être employé pour comparer ensemble deux pendules astronomiques.

HORLOGES ÉLECTRIQUES.

Tout le monde sait ce que c'est qu'une horloge ordinaire, et comment, par une série de rouages mus par un poids, le mouvement communiqué à une roue d'échappement se trouve modéré et régularisé par un pendule ou un balancier à l'aide d'un embrayage en forme d'ancre qui, à chaque oscillation du pendule, laisse échapper une dent de la roue régulatrice. Cet échappement permet en même temps de faire réagir le mobile sur le pendule de manière à entretenir son mouvement; et comme les oscillations de ce pendule sont à peu près *isochrones*, c'est-à-dire qu'elles se font dans le même temps, on obtient de cette manière un mouvement circulaire régulier qu'on décompose de manière à faire marcher deux aiguilles dans les rapports de la division du temps.

Théoriquement parlant, le principe des horloges est vrai et ne semblerait laisser rien à désirer pour le résultat qu'on cherche à en obtenir. Pourtant, tout le monde sait que toutes les horloges ne vont pas également bien; cela peut provenir de beaucoup de circonstances accidentelles, telles que les variations dans la longueur du pendule (par suite des changements de la température), l'épaississement des huiles des engrenages, l'introduction de la poussière et la mauvaise disposition de l'instrument ou des pièces qui le composent. Mais ces irrégularités viennent aussi de plusieurs causes physiques et mécaniques qu'il est urgent de combattre d'une manière raisonnée, et c'est dans ce double but que l'application de l'électricité à l'horlogerie peut être utile.

D'abord les oscillations du pendule ne sont isochrones,

dans les horloges, qu'autant qu'elles sont très-petites. C'est pourquoi, dans les bonnes horloges, le balancier n'a que de très-petits mouvements. Toutefois, cet isochronisme n'est pas rigoureux, il n'est qu'approché, et delà résulte la nécessité de la constance du moteur pour maintenir la même amplitude d'oscillation. Tous les soins des horlogers ont donc tendu à rendre l'action du moteur sur le pendule aussi constante que possible, et c'est dans ce but qu'on a adopté dans ces derniers temps les suspensions dites *isochrones*, c'est-à-dire des suspensions à ressort qui rendent la durée de l'oscillation du pendule *libre* et indépendante de l'amplitude.

Au premier abord, avec une telle suspension, il semble que l'action du moteur doit cesser d'intervenir dans la durée des oscillations. Mais la pratique a déjà fait voir à nos artistes qu'il n'en est pas ainsi. « La théorie, dit M. Liais, « le démontre également. En effet, l'isochronisme des oscil- « lations d'un mobile exige une *certaine relation entre la* « *force accélératrice et l'écart du mobile de sa position d'é-* « *quilibre*. Or, de ce que cette relation existe pour le pen- « dule tant qu'il est libre, il ne s'ensuit pas qu'elle continue « d'exister quand on fait agir sur lui des forces nouvelles. « Pour qu'il en soit ainsi, il faut que ces forces nouvelles « remplissent certaines conditions.

« Ce n'est donc pas tant la constance que l'on doit se « proposer de chercher dans l'action des moteurs des hor- « loges que l'intervention de cette action entre la force ac- « célératrice appliquée et l'écart du pendule de la verticale. « Sans doute, s'il était possible de donner au moteur une « force rigoureusement constante, *agissant toujours de* « *la même manière, au même instant de la course du pen-* « *dule*, on arriverait à une marche exactement constante, « quelles que fussent les relations des forces accélératrices « et de l'angle d'écart du pendule. Mais, quelque ingé-

« nieuses que soient les dispositions mécaniques employées, « une telle régularité, en supposant même la température « et la pression de l'air constantes, est impossible en pra- « tique. N'y eût-il que les poussières répandues dans l'at- « mosphère, ce serait assez, dans des pièces aussi délicates « que les horloges, pour amener des perturbations. »

M. Liais, auquel nous empruntons les lignes qui précèdent, était plus à même que personne de constater ces différentes influences, ayant observé pendant plus de deux ans, comparativement avec le mouvement du ciel, la marche de son horloge électrique établie dans les caves de l'Observatoire de Paris. Aussi, c'est à la suite d'observations persévérantes qu'il a pu se convaincre que pour exécuter une bonne horloge il fallait nécessairement :

1° Obtenir de la part du moteur une action aussi constante que possible ;

2° Établir entre l'intensité de l'action du moteur et l'angle du pendule une relation tendant à conserver l'isochronisme.

L'application de l'électricité à l'horlogerie permet de réaliser parfaitement, et d'une manière très-simple, ces deux problèmes. Toutefois, comme nous le verrons par la suite, la plupart des horlogers qui se sont occupés de cette question ne se sont attachés qu'à résoudre le problème de la constance du moteur. Encore, pour l'horlogerie électrique, sont-ils venus après M. Liais qui, dès l'année 1851, avait construit une horloge à échappement libre et à moteur constant [1]. M. Vérité, habile horloger de Beauvais, qui avait exécuté, en 1853, une horloge de ce genre, avait cru devoir réclamer en sa faveur la priorité de l'invention, prétendant que, dès l'année 1844, il avait imaginé un système d'échappement libre dont le mouvement du pendule était

1. Voir les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, année 1852.

entretenu par des poids tombant d'une hauteur constante. Mais, bien que ce système (fig. 2, pl. VI) fût le premier qui ait été conçu pour l'horlogerie ordinaire, bien qu'il ait valu à juste titre à son auteur une récompense, l'application de son principe n'en avait pas été faite à l'horlogerie électrique avant M. Liais, puisque dans toutes les horloges électriques construites avant 1851 le pendule recevait directement son impulsion de la force électrique elle-même. M. Liais, en introduisant dans ce système d'horlogerie le principe des échappements libres et des moteurs constants auquel il avait été conduit par des calculs qui lui étaient propres, réalisait donc alors un immense perfectionnement qui n'a pas tardé à porter ses fruits, puisque toutes les horloges qui ont été construites depuis sont fondées sur le même principe. Maintenant, la réalisation de l'isochronisme parfait des mouvements du pendule au moyen d'un intermédiaire mécanique établissant une relation entre l'action du moteur et l'écart du pendule (problème jusque-là négligé), rend le système de M. Liais le plus parfait de tous ceux qui ont été proposés, jusqu'à présent du moins, pour les horloges de précision.

En résumé les horloges électriques présentent les avantages suivants :

1° de supprimer les rouages des horloges ordinaires, et par conséquent de rendre leur marche indépendante de l'épaississement des huiles et de l'introduction de la poussière.

2° de permettre au pendule d'exécuter ses mouvements en pleine liberté.

3° de permettre l'introduction de moteurs à force constante et d'intermédiaires mécaniques, susceptibles de rendre parfait l'isochronisme des oscillations du pendule.

4° de pouvoir, sans l'addition de frotteurs spéciaux, réagir

électriquement sur autant de cadrans électro-chronométriques qu'on le désire.

5° d'être plus précises et moins chères que la plupart des régulateurs, et de n'avoir jamais besoin d'être remontées.

Horloge électro-magnétique de M. Bain. — M. Bain, paraît être le premier qui ait construit une horloge susceptible d'être mise en mouvement par l'action électro-magnétique. Dans cette horloge le pendule portait, au lieu d'une lentille, une bobine électro-magnétique disposée verticalement, et son mouvement était entretenu par le passage alternatif d'un courant tellurique à travers cette bobine, après chaque oscillation accomplie. A cet effet, deux aimants permanents présentant en regard l'un de l'autre leurs pôles opposés, étaient placés des deux côtés de ce pendule, près de la limite maximun de ses oscillations. Au moment où le courant passait dans la bobine, il s'exercait entre ce courant et les courants magnétiques des aimants, une réaction électro-magnétique, qui favorisait doublement le mouvement circulaire du pendule. En effet, cette action tendait d'un côté, à incliner les spires de l'hélice voltaïque de manière à rendre le courant qui les traversait parallèles aux courants magnétiques; de l'autre, elle provoquait entre les deux courants, ainsi en présence, l'attraction qui est la conséquence de la réaction des courants parallèles. C'était par l'intermédiaire d'une lame de platine très-flexible, placée sur le pendule près de son point de suspension, et réagissant sur une cheville de platine fixe, que s'opéraient les fermetures successives du courant, à chaque oscillation complète du pendule; et ces fermetures pouvaient en même temps produire leur effet sur un ou plusieurs compteurs électro-chronométriques, qui se trouvaient par cela même battre la seconde.

Il est facile de comprendre que cette disposition ne pouvait comporter l'isochronisme des oscillations du pendule,

puisque *la force du moteur était en rapport direct avec l'intensité électrique;* intensité qui est toujours variable, bien que M. Bain, pour la rendre constante ait employé le courant tellurique.

Horloges de M. Weare. — Quelque temps après M. Bain, M. Weare, horloger anglais, construisit trois systèmes différents d'horloges électriques, l'une marchant avec un pendule comme l'horloge précédente, l'autre marchant avec un balancier semblable à un balancier de montre; enfin un troisième marchant sous l'influence d'une pile sèche.

Dans la première, le mouvement du pendule est entretenu par un électro-aimant droit, placé transversalement à son extrémité inférieure. A cet effet, cet électro-aimant oscille entre les pôles d'un aimant permanent, dont chacune des branches porte un petit ressort à boudin en or, en rapport avec le même pôle de la pile. Le fil de l'électro-aimant en remontant par la tige du pendule, communique avec l'autre branche du courant, et se trouve soudé du côté opposé sur le fer de l'électro-aimant lui-même. Il en résulte, qu'à chaque oscillation, le pendule venant à toucher le ressort fixé sur l'aimant permanent, établit le courant dans l'électro-aimant droit, dont il est muni. Or, si le courant circule dans cet électro-aimant de telle manière que les pôles des deux aimants qui doivent se rencontrer soient de même nom, il en résulte une continuelle répulsion de part et d'autre de l'axe d'oscillation qui entretient le mouvement du pendule. On comprend d'après cela, que la roue d'échappement de l'horloge n'ayant plus d'impulsion à communiquer au pendule, comme dans les horloges ordinaires, et recevant au contraire de lui son mouvement de rotation, n'a plus besoin, sauf sa minuterie, de tous les engrenages sur lesquels réagissent les poids ou les ressorts, et peut donner directement l'heure sur un cadran adapté à l'ap-

pareil même, ou sur d'autres cadrans électro-chronométriques mis en relation avec elle.

Le système d'horloge sans pendule se compose d'un axe vertical qui porte le volant ou balancier appelé à remplacer le pendule, et une aiguille fortement aimantée enclavée dans un cadre galvanométrique. Un petit ressort à spiral rappelle toujours le balancier dans une position fixe, et une traverse métallique fixée sur l'axe de l'aiguille aimantée parallèlement à elle, peut établir le courant dans le cadre galvanométrique en réunissant métalliquement deux butoirs en rapport avec les deux pôles de la pile. D'après cette disposition, on peut comprendre que si l'aiguille aimantée, ayant sa situation d'équilibre dans le sens des fils du cadre galvanométrique, se trouve écartée de manière à ce que la traverse métallique ferme le courant, cette aiguille doit être, pour une direction convenable de celui-ci, repoussée du côté opposé ; le volant est donc entraîné avec elle, mais, en abandonnant son premier écart l'aiguille motive une interruption du courant, et alors le ressort qui rappelle le volant à sa position d'équilibre réagit en sens contraire et ramène bientôt la traverse métallique en contact avec les butoirs. Alors le courant se trouvant de nouveau rétabli, donne lieu à une nouvelle déviation qui fait place à un nouveau mouvement en sens contraire et ainsi de suite.

Le troisième système de M. Weare n'est qu'une simple modification du système précédent. Au lieu de l'aiguille aimantée, fixée sur l'axe du volant, c'est une boule métallique portée sur un petit levier de verre qui oscille entre deux autres boules métalliques en rapport avec les deux pôles de piles sèches. Quand la boule mobile touche la boule positive, l'électricité dégagée par celle-ci se distribue entre les deux boules, et une répulsion survient. En même temps une attraction de l'autre boule se manifeste, et la boule mobile, reportée au contact de la boule négative se charge

d'électricité négative, d'où il résulte une nouvelle répulsion puis une attraction en sens inverse du premier mouvement. Le volant se trouve donc perpétuellement animé d'un mouvement de va-et-vient qui peut réagir sur les mouvements de l'horloge.

Horloges électriques de M. Liais. — Comme je l'ai déjà dit, c'est en 1851 que fut construite la première horloge à moteur constant de M. Liais, il est vrai qu'elle ne présentait pas à cette époque les perfectionnements qu'elle offre aujourd'hui, mais telle qu'elle était elle avait une immense supériorité sur toutes celles qu'on avait faites jusqu'alors, et renfermait en elle le véritable principe de l'horlogerie électrique. Comme dans la plupart des publications qu'on a faites sur l'horlogerie électrique, on a écarté je ne sais pourquoi le nom de M. Liais; je vais rapporter ici la description de cette première horloge telle que je l'ai publiée en 1853 dans le premier volume de mon exposé des applications de l'électricité (1re édition). On verra par là que les droits de priorité de son auteur sont incontestables. Voici ce que je dis page 108.

« Pour obtenir le mouvement continu du pendule, M. Liais n'a pas eu recours, comme MM. Bain, Weare et autres, à un électro-aimant placé sur la tige du pendule et oscillant entre les pôles d'un aimant fixe. *C'est la chute d'une lame métallique qui se trouve soulevée et abandonnée à son propre poids en temps opportun qui remplit cette fonction importante.* En conséquence, le pendule est muni à son point d'oscillation d'un guide à potence, formant une espèce de T, dont l'une des branches agit sur le commutateur et l'autre reçoit le choc de la lame qui tombe. Celle-ci est articulée sur l'axe même de l'oscillation du pendule et doit constituer un système compensé, insensible aux variations de la température. Au-dessus de cette lame se trouve fixé un électro-aimant, dont l'armature, articulée

sur le même axe que la lame, peut soulever celle-ci en même temps qu'elle est attirée elle-même par l'électro-aimant. Or, comme un butoir maintient la hauteur de la chute toujours au même degré, et que la longueur du bras de levier qui occasionne le choc est toujours la même, on conçoit que le mouvement du pendule doit être régulièrement entretenu, si l'interruption du courant dans l'électro-aimant est faite en temps opportun.

« Toutefois, pour rendre la marche de l'horloge indépendante des petites variations qui pourraient avoir lieu dans l'instant de cette interruption, un crochet d'encliquetage retient la lame au haut de sa course, et à l'aide d'un butoir agissant sur ce crochet, le pendule dégage la lame au moment où elle doit peser sur lui. Le commutateur est à bascule et composé d'une lame métallique armée de deux rebords entre lesquels oscille la branche du guide du pendule opposée à celle qui reçoit les chocs. Cette lame, porte à son extrémité un arc de cercle moitié ivoire, moitié cuivre, contre lequel appuie un galet qui est en rapport avec l'un des pôles de la pile. Le galet est épais et les deux moitiés de l'arc (le cuivre et l'ivoire) ne sont pas exactement dans le plan l'une de l'autre, à cause des poussières métalliques qui, sans cette précaution, se déposeraient sur l'ivoire. Le fil de l'électro-aimant étant en communication métallique avec la lame du commutateur et l'autre pôle de la pile, voici ce qui arrive à chaque oscillation du pendule :

« Quand la branche du guide du pendule termine sa course ascendante, c'est-à-dire quand la lame qui doit donner le choc doit s'abaisser, la lame du commutateur est soulevée et le galet touche sur l'ivoire, le courant n'existe pas dans l'électro-aimant et son armature tombe; mais quand la branche termine sa course descendante, le galet est en contact avec le cuivre et le courant étant rétabli dans l'électro-aimant, soulève la lame aux chocs; le pendule achève

son oscillation entière, et ce n'est que quand il est revenu sur ses pas que, le courant se trouvant de nouveau rompu, cette lame retombe parce qu'elle est dégagée du crochet qui la retenait. Le courant se trouve donc régulièrement rompu à chaque seconde, et il suffit pour obtenir l'heure de placer des compteurs sur son parcours. »

Voici maintenant la description d'un chronomètre électrique imaginé dans le même temps par M. Liais.

Chronomètre électrique de M. Liais. — Dans une foule de circonstances, et particulièrement dans la marine, les horloges à pendule ne peuvent être employées à cause des influences contraires que ces appareils sont appelés à recevoir. On a donc dû chercher à les remplacer par un système oscillant tout à fait en dehors des effets de la pesanteur. Ce système c'est le balancier circulaire que nous retrouvons dans toutes les montres. Nous avons déjà vu que M. Weare avait construit dans ce système une de ses horloges. M. Liais en a fait autant; mais, au lieu d'employer dans ce but un galvanomètre dont l'effet mécanique est toujours faible, il a eu recours aux réactions magnétiques beaucoup plus fortes des électro-aimants. Voici en quoi consiste son chronomètre qu'il destine particulièrement à la marine.

Une boîte cylindrique à double fond contient tout le mécanisme. L'une renferme le balancier, son ressort et sa minuterie; l'autre contient l'électro-aimant, l'interrupteur du courant et les accessoires.

Cet électro-aimant est fixé horizontalement sur le fond intermédiaire de la boîte, et son armature, articulée sur une de ses branches, porte environ à chaque tiers de sa longueur deux guides fixes en quart de cercle, terminés chacun par un crochet. Ces crochets sont destinés à bander deux lames de ressort fixées au point d'articulation de l'armature et dont nous allons voir à l'instant l'usage.

A portée des extrémités de ces 2 lames de ressort, et dans

une position déterminée, sont deux crochets d'encliquetage à tige très-flexible, tournés en sens inverse l'un de l'autre ; l'un de ces crochets (le plus rapproché du centre de la boîte) porte une dent de rochet qui fait face au ressort le plus rapproché de l'armature ; si bien que quand ce dernier ressort vient à être détendu, un butoir qu'il porte vient heurter ce crochet et dégage l'autre ressort qui s'y trouve retenu. Ainsi chaque dégagement du ressort le plus près de l'armature, et qui est en même temps le plus long, a pour effet un dégagement du second.

Pour ne pas confondre ces ressorts les uns avec les autres, nous les appellerons désormais, le premier : la *lame flexible n°* 1 ; le second, la *lame flexible n°* 2.

La lame flexible n° 2 est engagée entre les deux branches d'une fourchette dont la tige fait bascule dans le sens horizontal, et porte à son extrémité opposée à la fourchette, un arc moitié ivoire, moitié cuivre. Sur cet arc vient appuyer un galet métallique, sollicité dans ce sens par un ressort à boudin, et ce galet est en rapport avec l'un des pôles de la pile par le fil de l'électro-aimant. L'autre pôle aboutit à l'axe d'articulation du levier à fourchette. Quand ce levier est incliné à droite ou à gauche, le courant se trouve donc fermé ou interrompu, puisque c'est la partie métallique de l'arc ou la partie d'ivoire qui vient en contact avec le galet. Tel est le système commutateur.

La lame flexible n° 1 en se détendant parcourt un arc de cercle dont le centre est précisément le point d'articulation de l'armature. Si donc on place sur le prolongement de ce centre, l'axe du balancier, et qu'on ouvre dans le fond intermédiaire de la boîte une rainure correspondante à l'arc décrit par la lame flexible en se détendant, on pourra facilement faire réagir cette lame sur le balancier. Il suffira pour cela d'un butoir fixé en un point de la circonférence de ce balancier, et circulant dans la rainure. La forme de

ce butoir pourra d'ailleurs être calculée de manière à rencontrer le crochet d'encliquetage de la lame quand l'oscillation du balancier, dans ce sens, sera accomplie. Or, voyons comment vont agir tous ces mécanismes, quand le courant cessant de circuler dans l'électro-aimant, l'armature vient à se détacher.

Les lames n° 1 et n° 2 sont alors encliquetées, le butoir du balancier est sur son oscillation rétrograde, et le galet de l'interrupteur est sur une partie d'ivoire. Lorsque l'oscillation du balancier va être sur le point de s'achever, le butoir coudé rencontrera le crochet de retien de la lame n° 1; celle-ci se détendant, vient donner un coup sur le butoir du balancier, et lui fait commencer son oscillation en sens inverse; mais en s'abaissant l'appendice dont elle est munie en son milieu, rencontre le crochet d'encliquetage de la lame n° 2, et celle-ci en se détendant à son tour, réagit sur la fourchette de l'interrupteur qui reporte au contact du galet une partie métallique.

Le courant circule alors dans l'électro-aimant, l'armature est attirée, et avec elle, les arcs en quart de cercle qu'elle porte. Ceux-ci, par les crochets dont sont armées leurs extrémités, saisissent les lames n°s 1 et 2, et les bandent jusqu'à ce qu'elles soient retenues par leur crochet d'encliquetage; mais en ce moment, la lame n° 2 a réagi en sens inverse sur la fourchette de l'interrupteur, et a ramené au contact du galet une partie d'ivoire. Le courant est donc de nouveau rompu, et l'action recommence comme nous l'avons dit. Il va sans dire que l'on doit apporter à la construction de cet appareil les mêmes perfectionnements, quant à la compensation de la dilatation, que pour les montres marines ordinaires.

M. Liais a pensé faire réagir son chronomètre sur des compteurs électro-chronométriques. Celui qu'il décrit étant tout à fait semblable à ceux dont nous avons parlé précé-

demment, nous n'en ferons pas une description spéciale.

Voici comment M. Liais résume les avantages de son chronomètre employé à bord des navires.

« Ces avantages, dit-il, sont :

« 1° Une régularité beaucoup plus parfaite de marche; car, d'une part, la force qui agit sur le balancier est constante, puisqu'elle provient d'un ressort qui se bande à chaque mouvement du balancier d'une quantité constante et dans des circonstances toujours identiques, tandis que, dans les chronomètres ordinaires, la force du ressort va sans cesse en variant, quelques précautions que l'on apporte à sa construction et à celle de la fusée, depuis l'instant du remontage jusqu'à celui où ce ressort est complétement débandé. — D'autre part, dans le chronomètre électrique, le ressort qui entretient le mouvement du balancier n'a pas, comme dans les chronomètres ordinaires, à pousser en même temps les nombreux engrenages du compteur dans lesquels les frottements varient sans cesse avec la température des huiles, et leur durée qui détermine leur rancidité, et on sait combien cette influence est grande sur le mouvement des chronomètres ordinaires. En outre dans le chronomètre électrique le balancier est aussi libre que possible.

« L'importance de la régularité de la marche des chronomètres à bord des navires est telle qu'elle devrait seule, sans aucun autre motif, faire accorder la préférence aux chronomètres électriques sur tous les chronomètres ordinaires.

« 2° Un autre grand avantage du chronomètre électrique est de pouvoir faire marcher autant de compteurs que l'on veut, disposés de toutes les manières dans toutes les parties du bâtiment. Quelques-uns de ces compteurs pourraient donc être placés sur les points où se font les observations astronomiques, et on pourrait aisément leur faire sonner les secondes, comme dans les observations à terre. Il suffi-

rait pour cela de fixer un marteau à l'extrémité de la lame de fer doux du compteur, et de placer un timbre à sa portée. Ce serait d'une grande commodité pour les observations.

« De plus, une partie des compteurs pourrait être mise à l'heure du lieu pour le service du bord, tandis que les autres resteraient à celle du premier méridien pour les observations, car la marche des uns et des autres serait la même; la position des aiguilles seulement serait différente.

« 3° Un troisième avantage du chronomètre électrique est d'être moins dispendieux que les chronomètres ordinaires, car son mécanisme est beaucoup plus simple, et il coûterait encore beaucoup moins, même lorsqu'il serait accompagné de plusieurs compteurs.

« Les courants électriques n'influeraient pas sur les boussoles si on les faisait toujours revenir par un fil placé le long de celui qui les a conduits. Les électro-aimants n'influeraient pas davantage à cause du voisinage des pôles contraires, s'ils étaient à quelque distance des boussoles. Au reste, un électro-aimant convenablement placé et aimanté par le courant du chronomètre, annulerait aisément l'effet de tous les autres comme le compensateur de Barlow corrige la déviation produite par les ferrures du bâtiment. Rien de plus simple que de voir si ces courants et électro-aimants influent sur la boussole. Il suffit pour cela d'examiner si sa position est la même quand le courant est fermé ou quand il est rompu. »

Horloge électrique de l'Observatoire de Paris, de M. Liais. — Chargé par M. Leverrier d'établir à l'Observatoire de Paris une horloge électrique qui, par son exactitude, fût susceptible de régler la marche des divers cadrans distribués en différents points de cet établissement, M. Liais fut conduit, comme nous l'avons déjà dit, à étudier avec un soin tout particulier la marche de son premier système

d'horloge électrique et à voir s'il n'y aurait pas moyen d'en faire une horloge de précision. C'était certainement un problème difficile à réaliser, car dans le cas en question, le degré de précision devait être tel que les variations de l'instrument ne devaient pas dépasser un *dixième* de seconde en vingt-quatre heures. Observateur habile et mathématicien consommé, M. Liais ne tarda pas à reconnaître les causes qui pouvaient influer sur la marche de son horloge; et c'est alors qu'il chercha à y remédier en donnant une disposition toute particulière aux pièces destinées à réagir comme moteurs constants.

Ce n'est que tout récemment que M. Liais a fait connaître les résultats de ses recherches à ce sujet. Il les a communiquées à la Société impériale des Sciences naturelles de Cherbourg, le 14 janvier 1856. Dans ce travail l'auteur fait voir que dans le cas des horloges électriques où le pendule doit soulever un poids ou établir un contact à l'une des extrémités de sa course (ce qui est le cas des horloges de MM. Froment, Vérité, Houdin, Paul Garnier, etc.), *la propriété du pendule d'avoir des oscillations d'une durée constante, aux termes près du deuxième ordre, disparaît entièrement*, de sorte qu'à un petit changement dans l'amplitude correspond une variation énorme dans la durée des oscillations[1]. Il examine ensuite comment on peut faire

1. Cette propriété est très curieuse. Nous extrayons du travail de M. Liais le fragment suivant dans lequel il la démontre :

Soit l la longueur du pendule simple, θ l'angle du pendule et de la verticale, dt l'élément du temps et g la gravité; on sait que l'équation différentielle du mouvement du pendule simple est $l\frac{d^2\theta}{dt^2}=g\sin\theta$ dans le vide.

Si maintenant on suppose qu'un poids m' vienne à agir rectangulairement au bout d'un bras de levier k sur le pendule, et si on pose $B=\frac{m'}{m+m'}\ \frac{k}{l}$, m étant la masse du pendule simple, l'équation du

disparaître cet inconvénient, et *il fait voir qu'il cesse d'exister, si le poids soulevé par l'horloge exerce sur le bras perpendiculaire au pendule une pression proportionnelle à la tangente de l'angle du pendule avec la verticale.* De plus à cause de la vitesse perdue par le pendule par suite de la

mouvement du pendule simple pendant cette action deviendra :

$$(a)\quad l\frac{d^2\theta}{dt^2} = g\ (\sin\theta + B\cos\theta)$$

d'où en intégrant et appelant α l'angle d'écart maximum du pendule de la verticale,

$$l\frac{d\theta^2}{dt^2} = -2g\,[\cos\theta - \cos\alpha + \beta\,(\sin\alpha - \sin\theta)]$$

équation qui peut se mettre sous la forme

$$(b)\quad dt = -\sqrt{\frac{l}{g}}\ \frac{d\theta}{\sqrt{2\cos\theta - 2\cos\alpha + 2\beta\sin\alpha - 2\beta\sin\theta}}$$

Remarquons que β est d'un ordre supérieur à α dans les horloges électriques, puisque pour des amplitudes d'un degré au maximum où $\alpha = \frac{1}{60}$, l'expérience prouve que β peut être inférieur à $\frac{1}{10000}$. De plus β décroît quand α diminue presque aussi rapidement que α^2 auquel est sensiblement proportionnelle la résistance de l'air. On voit donc que l'on n'a à considérer que le cas où β est au moins de l'ordre α. Cela posé, si dans l'équation différentielle (b) on néglige les termes du 4e ordre sous le radical, ce radical devient $\sqrt{\alpha^2 - \theta^2 + 2\beta\alpha - 2\beta\theta}$, l'on peut alors intégrer et il vient : $t = -\sqrt{\frac{l}{g}}\ \text{arc sin}\ \frac{\theta + \beta}{\alpha + \beta} + \text{const.}$

La durée T de la demi-oscillation sera donc :

$$T = \sqrt{\frac{l}{g}}\left(\frac{\pi}{2} - \text{arc sin}\ \frac{\beta}{\alpha + \beta}\right)$$

En faisant dans cette expression $\beta = 0$ auquel cas on rentre dans les conditions du pendule simple libre, on a la formule connue du pendule $T = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$ pour la demi-oscillation.

Dans la formule $T = \sqrt{\frac{l}{g}}\left(\frac{\pi}{2} - \text{arc sin}\ \frac{\beta}{\alpha + \beta}\right)$

β étant constant, si on met le pendule en marche, la durée de l'oscillation

rencontre des poids, il démontre que l'action de ceux-ci, comme moteurs, doit se prolonger jusqu'au passage du

dépendra de la valeur de α. Donc les oscillations ne sont plus isochrones quelle que soit l'amplitude.

On a pour expression de la variation de T par rapport à α

$$\frac{\delta T}{\delta \alpha} = -\sqrt{\frac{l}{g}} \frac{\beta}{(\alpha + \beta)\sqrt{\alpha + 2\beta}\sqrt{\alpha}}$$

expression qui tend vers l'infini quand α tend vers 0. Donc on arrive à ce curieux résultat que les oscillations sont d'autant moins isochrones qu'elles sont plus petites, et que les variations dans la durée de l'oscillation sont énormes quand l'amplitude est petite et varie.

La loi du pendule est donc renversée et le pendule devient le pire des régulateurs.

Ce défaut disparaît si on suppose que dans l'équation (a), β est proportionnel à $tg\,\theta$, c'est-à-dire si le poids qui entretient le mouvement pèse sur le pendule au moyen d'une disposition analogue au peson, proportionnellement à la tangente de l'angle d'écart du pendule de la verticale. Soit en effet dans cette équation $\beta = \mu\, tg\,\theta$, l'équation (a) devient

$$l\frac{d^2\theta}{dt^2} = g\,(1 + \mu)\sin\theta$$

et on arrive, en négligeant les termes d'ordre supérieur au 2e, pour la durée de la demi-oscillation, à l'expression

$$T = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g\,(1 + \mu)}}$$ expression indépendante de l'amplitude.

L'isochronisme existe donc comme dans le cas du pendule libre. Il n'y a de changé que la longueur du pendule qui bat la seconde.

M. Liais fait voir ensuite que les propriétés du pendule simple dans le vide existent également pour le pendule composé dans l'air. Il donne les expressions du mouvement d'une pendule soumis pendant une partie de sa course à l'action d'accélérateurs, en faisant intervenir les pertes de forces vives dues aux chocs. Nous n'entrerons pas dans ces détails, le fragment que nous venons de citer est suffisant pour faire voir la nécessité des relations entre les forces accélératrices et l'angle d'écart du pendule, et pour faire apprécier la différence des travaux sur l'horlogerie électrique de M. Liais avec ceux des personnes qui ont cherché à lui contester sa priorité.

Ce qui précède prouve encore combien il est difficile de faire établir des courants électriques à une horloge ordinaire sans altérer sa marche, et montre que l'on doit, autant que possible, éviter les contacts établis par le pendule, contacts qui donnent lieu à des anomalies énormes, comme l'expérience l'a fait voir.

pendule par la verticale, et que leur rencontre avec ce pendule doit se faire un peu avant la fin de la course de ce dernier. Les formules indiquent le rapport qui doit exister entre l'angle de la rencontre et l'amplitude totale pour qu'un changement de cette amplitude n'altère pas plus la durée de l'oscillation que dans le cas du pendule libre. L'auteur a réalisé ces conditions, dans la pratique, par une disposition des poids à l'extrémité d'un levier coudé analogue au peson.

La fig. 1re, pl. VI, représente le mécanisme de l'horloge électrique de M. Liais. On remarquera qu'il a supprimé toutes les articulations des pièces mobiles et les a remplacées par des lames de ressorts (voir fig. 2). Les ressorts antagonistes, au lieu d'être à boudin, sont constitués par des contre-poids, pour que leur force soit invariable. Enfin, en analysant les détails de ce système, on verra que toutes les précautions ont été prises pour éviter les causes de perturbations accidentelles.

XY est le pendule, sa tige est en sapin et suspendu par un ressort isochrone dont la pince peut être haussée ou baissée à l'aide d'une vis de rappel V. C'est au moyen de cette vis qu'on retarde ou qu'on avance l'horloge, sans pour cela arrêter le pendule dans sa marche.

MG, M'G' sont les deux branches du pendule destinées à recevoir l'impulsion des poids moteurs et à servir d'interrupteur. LK, L'K' sont les poids moteurs. Ils consistent dans deux lames rigides fixées en L et en L' par des lames de ressort très-flexibles. Ces lames rigides sont équilibrées par un système de contre-poids FE, F'E' placés sur les leviers CD, C'D' auxquels elles sont reliées par un fil DK, D'K'. Mais cet équilibre est calculé de manière à laisser aux lames LK, L'K' l'excédant du poids nécessaire pour l'entretien de la marche du pendule. Les boules Z, Z' constituent le peson destiné à corriger le défaut d'isochronisme

dépendant des oscillations inégales du pendule; elles sont vissées à l'extrémité d'un levier taraudé porté par la pièce oscillante sur laquelle est fixé le levier C D, C′ D′; elles suivent donc tous les mouvements de ce levier, de telle sorte que, quand celui-ci s'écarte de sa position horizontale, elles réagissent d'autant plus énergiquement pour le ramener dans cette position, que l'écart a été plus considérable.

Les bascules A B, A′B qui portent à l'une de leurs extrémités des soucoupes A, et A′ et qui sont articulées l'une en T, l'autre en T′, sont reliées à des électro-aimants P, P′ destinés à réagir à distance comme accélérateurs ou retardateurs du mouvement du pendule. C'est à cet effet qu'ont été introduites, dans les systèmes compensateurs des poids moteurs, les boules T et T′. On en comprendra facilement la fonction, si l'on examine que l'une des bascules A B constitue, par rapport à sa liaison avec l'électro-aimant P, un levier du premier genre, et que l'autre est disposée de manière à réagir comme un levier du deuxième genre. En effet, si à l'état normal le pendule fonctionne comme l'indique la figure, c'est-à-dire, sous l'influence de L K — (E + F) d'un côté, et de L′K′ — E′ de l'autre, ce qui suppose la boule F′ soutenue par le levier A′B′, il arrivera que quand on fera circuler le courant à travers l'électro-aimant P, la bascule A B rencontrera la boule F et la soutiendra. Le levier L K ne sera donc plus équilibré que par la boule E et pèsera davantage. Il y aura donc accélération de mouvement. Quand, au contraire, le courant sera envoyé à travers l'électro-aimant P′, la bascule A′B′ ne soutiendra plus le poids F′, et celui-ci contribuera à diminuer la force motrice du levier L′K′, et il y aura par conséquent retard.

Les électro-aimants qui déterminent la chute des poids moteurs sont en O et O′, leur armature est équilibrée par des contre-poids N, N′ et maintenue à une hauteur déterminée par les butoirs Q, Q′. Ces armatures portent deux

fourchettes J H, J′H′ dont les branches, réunies par une traverse d'ivoire, soutiennent en H et H′, les leviers L K, L′K′. Quand les électro-aimants sont inactifs, les contre-poids N, N′ ont assez de puissance pour maintenir leurs armatures contre leur butoir Q, Q′, et par suite, pour soutenir les leviers L K, L′K′ à une hauteur fixe qui est réglée par ces butoirs eux-mêmes; mais quand ils deviennent actifs, les fourchettes H J, H′, J′ se trouvent abaissées et laissent tomber les leviers d'une hauteur qui peut être réglée au moyen des butoirs d'arrêt R, R′. L'étendue de cette chute peut d'ailleurs être réglée par rapport aux bras M G, M′G′ du pendule, au moyen d'une vis S, S′ adaptée à l'extrémité des leviers L K, L′K′ et munie d'une plaque de platine.

D'après cette explication il est aisé de comprendre la marche de cette horloge.

Quand le pendule X Y est incliné vers la droite, la branche M G vient rencontrer la vis S et par son intermédiaire soulève le levier L K. Mais en soulevant ce levier, les contre-poids E et F diminuent d'effet, car le peson Z s'incline vers la droite, de sorte que la force qui réagit sur le pendule augmente comme les tangentes des angles d'écart de celui-ci. En même temps que ce soulèvement a lieu, le courant se trouve fermé à travers l'électro-aimant O qui, en devenant actif, abaisse la fourchette H J; le levier L K, n'étant plus soutenu au moment de l'oscillation descendante du pendule, accompagne la branche M G dans son mouvement rétrograde jusqu'à ce qu'il soit lui-même arrêté par le butoir R; et c'est précisément cette chute de K en R qui entretient le mouvement de l'horloge. Quand la branche M G a abandonné la vis S, le courant est de nouveau interrompu dans l'électro-aimant O, la fourchette H J est relevée, et avec elle le levier L K qui se trouve dès lors en position de réagir à la prochaine oscillation du pendule.

Les mêmes effets s'effectuent pour les oscillations de gauche du pendule.

Horloge électrique de M. Vérité. — Dans l'horloge de M. Vérité comme dans celle de M. Liais, le pendule régulateur porte une traverse rigide disposée ne croix. Seulement cette traverse est plus longue et porte deux petites chevilles C et D, fig. 3, Pl. VI, qui peuvent se mouvoir avec une complète liberté à l'intérieur de deux petites cloches métalliques E′ F, suspendues à de longs fils d'argent E G, F H. Ces fils, qui doivent être très-fins, sont attachés aux deux bras d'une bascule horizontale L M, et pour qu'ils soient toujours maintenus d'aplomb, des contre-poids O et P divisent en deux leur longueur. La bascule L M porte à ses deux extrémités deux armatures de fer doux correspondant à deux électro-aimants T et U et se trouve isolée en son milieu au moyen d'un manchon d'ivoire *a b*. Une liaison métallique existe entre chaque branche de cette bascule et l'électro-aimant correspondant. Enfin l'un des pôles de la pile communique au support du pendule tandis que l'autre communique directement aux deux électro-aimants. Voici alors comme l'appareil fonctionne :

Quand le pendule est dans sa position d'équilibre suivant la verticale, les chevilles C et D ne touchent pas les cloches E et F dont l'intérieur, sauf la partie du fond, est recouvert d'une substance isolante. Mais aussitôt que le pendule est dévié de sa position d'équilibre, l'une des chevilles, C par exemple, touche le fond de la cloche correspondante F et ferme alors un courant électrique à travers l'électro-aimant T placé du même côté. Sous l'influence de cette fermeture de courant l'armature L est attirée, par suite la cloche E s'abaisse et, en appuyant de tout son poids sur la cheville C, tend à faire prendre au pendule un mouvement rétrograde. Toutefois ce mouvement ne commence que quand la vitesse acquise du pendule s'est éteinte; mais pendant l'oscillation

rétrograde le poids de la cloche réagit jusqu'à ce que le contact de la cheville C avec la cloche ait cessé d'exister; alors le courant se trouve rompu à travers l'électro-aimant T pour être reporté à travers l'électro-aimant U, qui possède alors le courant par suite de la rencontre de la cheville D avec la cloche F, rencontre qui est calculée de manière à s'effectuer au même instant que la cheville C abandonne la cloche E. Par l'effet de cette commutation la bascule L M, qui était inclinée vers T, se relève pour s'incliner vers U et reproduire de ce côté la même réaction que celle qui avait été primitivement accomplie; on voit donc que par ce moyen le mouvement du pendule se trouve sans cesse entretenu d'une manière régulière sans que les pièces du commutateur soient soumises à aucun frottement.

En faisant réagir les électro-aimants, ou la bascule L M elle-même sur des encliquetages ou des interrupteurs, on obtient, comme dans les systèmes précédents, ou l'indication des heures sur un cadran ou la marche de cadrans électro-chronométriques, distribués en divers endroits.

A l'exposition universelle de 1855, M. Vérité avait exposé un régulateur électrique et une pendule fondés sur le principe que nous venons d'exposer, et qui étaient remarquables par la perfection de leur exécution. Il paraît même que ces appareils ont parfaitement fonctionné pendant toute la durée de l'exposition; pourtant, théoriquement parlant, ce système n'est pas exempt de certains défauts. Ainsi, des fils aussi fins que ceux qui supportent les poids moteurs, doivent nécessairement, étant employés à transmettre le courant, subir l'effet calorifique de ce courant, et présenter un allongement variable suivant l'intensité de la pile. Dès lors, la constance du moteur n'existe plus. D'un autre côté, les courants d'air ne sont pas sans action sur un système aussi mobile, et le déplacement du point d'application de la force motrice empêche la constance de cette force. Je sais

qu'avec la nouvelle disposition de M. Vérité cette influence est bien réduite, mais de ce que les chevilles C et D doivent entrer librement et sans contact sous les cloches E et F, il faut nécessairement qu'il y ait beaucoup de jeu et ce jeu peut suffire pour faire varier le point d'application de la force. Sans doute, ces objections sont plutôt théoriques que réelles, la preuve c'est que le régulateur de M. Vérité a bien fonctionné; mais, comme le fait observer M. Liais, quand il s'agit d'une appréciation très-exacte du temps comme celle qui est exigée pour les observations astronomiques, on ne doit négliger aucune cause, même théorique, de perturbation; et il est problable que si M. Vérité comparait la marche de son régulateur avec le mouvement du ciel il trouverait de notables différences.

Dans tout ce que j'ai dit sur M. Vérité, je n'ai pas prétendu diminuer en aucune façon son mérite. Je sais pertinemment combien cet artiste est ingénieux et quels remarquables progrès il a fait faire à l'horlogerie. Je sais encore que quand il a exécuté sa première horloge électrique il n'avait pas eu connaissance de celle de M. Liais, et qu'il n'avait eu en vue que de faire réagir l'électricité sur son échappement libre qu'il avait inventé longtemps avant, lequel effectivement est exactement semblable à celui que nous avons décrit, comme on peut s'en assurer par le modèle déposé au Conservatoire des Arts et Métiers. Mais, comme mon livre n'est pas un catalogue de réclames, j'ai dû dire sincèrement ce que je pensais.

Horloge électrique de M. Froment. — L'horloge électrique, ou plutôt la petite pendule électrique que M. Froment a employée à faire marcher, à l'exposition de 1855, un immense compteur de deux mètres de diamètre, et fondée identiquement sur le même principe que celle de M. Liais. Elle a été l'objet d'une réclamation de M. Vérité, mais comme elle n'a pas été décrite dans aucun recueil au moment de

son exécution, il est tout à fait impossible de préciser quel rang elle doit occuper dans l'ordre chronologique des horloges électriques. C'est toujours, je le dirai en passant, une grande faute de la part des inventeurs de ne pas établir leurs droits en temps et lieu, soit par un brevet, soit par une publication dans un recueil à date certaine. On peut perdre de cette manière l'honneur d'une invention. Quoi qu'il en soit, voici en quoi consiste l'horloge de M. Froment.

A B, fig. 4, pl. VI est un pendule dont la tige est en bois, et qui porte sur le côté un petit levier O, muni d'une vis de rappel; au-dessus de cette vis, et sans qu'il le touche tout à fait quand le pendule se trouve suivant la verticale, est adapté un petit poids P, de cuivre, soudé à l'extrémité d'une lame très-flexible de cuivre P I. Ce contre-poids est soutenu en C par une bascule C D dont l'extrémité D peut osciller entre deux vis G' H, qui en limitent la course. Dans la position du pendule sur la figure, c'est la vis H qui la maintient car elle porte en E une armature d'électro-aimant qui fait contre-poids. L'électro-aimant est en M au-dessus de cette armature, et les communications électriques sont établies de manière que le support A du pendule soit en rapport direct avec l'un des pôles de la pile, le pôle positif par exemple, et que le support I soit en communication avec le fil de l'électro-aimant qui est d'ailleurs en rapport avec le pôle négatif de la pile. M. Froment a pensé qu'un seul électro-aimant était suffisant pour entretenir la marche de son pendule, et c'est pour cela qu'il n'a employé que la moitié de la disposition des autres systèmes. Il est certain que la force nécessaire pour mettre en marche une horloge électrique est tellement minime, que c'est réellement du luxe que de répéter en double les systèmes des moteurs à force constante.

Horloges de MM. Robert-Houdin et Detouche. — M. De-

touche dont tout le monde connaît le magnifique établissement d'horlogerie, est un de ceux qui ont le plus contribué à la vulgarisation et au perfectionnement de l'horlogerie électrique et de beaucoup d'autres inventions de ce genre. Dès l'année 1852, en effet, alors que personne en France ne s'occupait d'horlogerie électrique, si ce n'est M. Liais, M. Detouche avait traité avec un inventeur ingénieux appelé M. Brisebarre, pour la construction de pendules électriques. Ces pendules, que j'ai décrites dans la première édition de mon ouvrage, étaient loin de présenter les perfectionnements de celles qui ont été faites depuis, car dans ces horloges le mouvement du pendule n'était pas entretenu par des moteurs à force constante et variait par conséquent avec l'intensité de la pile. C'est sans doute pour cette raison que ces pendules, dont M. Detouche avait essayé, dès l'origine, d'établir la fabrication sur une grande échelle, n'ont pu être exploitées. Quoi qu'il en soit, M. Detouche ne se rebuta pas, et, trois ans plus tard, il fit un nouveau traité avec M. Robert-Houdin (le célèbre prestidigitateur), qui réalisa cette fois complétement les espérances qu'on pouvait fonder sur ce système d'horlogerie. On est réellement heureux d'avoir à signaler, au milieu de tant d'industriels qui éloignent à première vue les inventions nouvelles, un homme qui, comme M. Detouche, ne craint pas d'exposer des fonds pour encourager les inventeurs. De tels hommes sont malheureusement bien rares en France.

Les horloges de M. Robert-Houdin, fabriquées par M. Detouche, sont de trois sortes; les régulateurs à pendule compensé et à doubles moteurs; les pendules simples et les pendules à sonneries électriques. Ce qui distingue ces appareils, outre la manière ingénieuse dont ils ont été combinés, c'est la modicité de leur prix. Pour soixante francs on peut, en effet, avoir une pendule électrique, et

pour cent francs une pendule du même genre avec sonnerie. C'est à n'y pas croire !...

Le régulateur de M. Robert-Houdin, que nous avons représenté, fig. 5, Pl. VI, est toujours fondé sur le même principe que ceux dont nous venons de parler; seulement, ce ne sont plus des poids qui agissent comme moteurs constants, mais bien des lames de ressort dont l'action est suspendue, en temps voulu, au moyen de petits encliquetages fort ingénieux qui se débrident et s'embrident par l'effet d'électro-aimants disposés des deux côtés du pendule régulateur. Contrairement au système de M. Liais, M. Robert-Houdin ne fait réagir ces électro-aimants que quand le pendule est sur une oscillation opposée à celle qui leur correspond. Ainsi, en admettant que la branche A du pendule vienne rencontrer le ressort B et le désencliquette en raison de sa vitesse acquise, pour qu'il vienne lui donner ensuite l'impulsion nécessaire, c'est l'électro-aimant B′ qui deviendra actif et qui réagira pour l'encliqueter. M. Robert-Houdin prétend qu'avec cette disposition il se rend indépendant de toutes les variations électriques.

Dans la fig. 5, XY est le pendule régulateur, E′ E′ les deux électro-aimants A′A′ leurs armatures, S′ S′ les deux encliquetages, L′ L′ les ressorts moteurs, B′ B′ les deux branches du pendule recevant les impulsions, enfin T′ T′ les tiges réagissant sur la minuterie Q.

Le courant arrive de la pile par le fil + pour entrer dans le balancier par la suspension. Lorsque celui-ci oscille à gauche, son bras B vient toucher le ressort L qui est en communication par un fil avec l'électro-aimant E′, et complète ainsi le circuit à travers cet électro-aimant. L'armature A′ se trouve donc attirée et par l'intermédiaire de la tige T′ et de l'anneau N′, elle soulève le ressort L′ en même temps qu'elle fait avancer d'une dent la roue à rochet Q commandant la minuterie. La petite masse M′ qui ap-

puie sur l'armature A′ est fixée sur le levier S′ par une lame de ressort, de manière que l'armature en se soulevant force le levier S′ à s'approcher du ressort L′. Celui-ci étant alors lui-même soulevé comme nous l'avons vu, vient s'engager au-dessus du crochet C′ et y reste accroché après la rupture du courant dans l'électro-aimant E′. Quand le balancier revient vers la droite, il abandonne le ressort L, et le courant se trouvant par cela même interrompu dans l'électro-aimant E′, la tige T′ est abaissée et repousse le cliquet qui lui correspond au-dessus d'une nouvelle dent du rochet, mais le ressort L′ reste toujours accroché sur le levier S′. Ce n'est que quand le balancier rencontre ce ressort par la branche B′, que le crochet C′ se trouve libre et peut se dégager de dessous le ressort L′; alors celui-ci appuie de toute son élasticité sur la branche B′ du balancier, et lui communique l'impulsion dont il a besoin pour avoir sa marche entretenue. En même temps que cet effet s'opère, le contact établi entre le ressort L′ et la branche B′ ferme le courant à travers l'électro-aimant E qui réagit comme l'électro-aimant E′ en faisant avancer le rochet de la minuterie d'une dent, et en accrochant le ressort L sur le crochet C.

Comme la chute des ressorts L et L′ est sensiblement la même, la force motrice peut être considérée à peu près comme constante. Je dis *à peu près* car les variations de température allongeant plus ou moins ces ressorts, leurs hauteurs de chute ne sont pas rigoureusement les mêmes. D'ailleurs, la force élastique des ressorts en général est sujette à plusieurs variations contre lesquelles il est impossible de se prémunir. Cependant, comme cette force élastique augmente avec l'inflexion, ce système satisfait mieux à la seconde condition d'isochronisme posée par M. Liais, que ceux dans lesquels la force constante résulte de la chute seule d'un poids.

Pour régler la force d'impulsion des ressorts L′ L′, M. Robert-Houdin leur a adapté deux petits contre-poids R′ R′ qui étant placés plus ou moins loin des points d'attache de ces ressorts, augmentent ou diminuent leur action motrice.

Pendule électrique de M. Robert Houdin. — La pendule électrique de M. Robert Houdin n'est qu'un diminutif de son régulateur. Elle se compose : 1° d'un pendule à suspension isochrome et de son système moteur ; 2° d'un électro-aimant à répartiteur, réagissant sur ce système moteur ; 3° d'une minuterie de pendule commandée par une vis sans fin et une roue à rochet qui reçoit son impulsion du répartiteur de l'électro-aimant. Cette pendule est représentée fig. 6, pl. VII.

AB est le pendule dont la lame de suspension est introduite dans la boule C, qui est divisée en deux par une cale d'ivoire. ZXY sont les deux branches de ce pendule destinées à recevoir l'impulsion du ressort moteur CD, et à fermer le courant à travers l'électro-aimant par l'intermédiaire du ressort CE. La hauteur de ces deux branches peut être réglée au moyen de la vis de pression X. HI est un crochet d'encliquetage qui passe à travers une entaille pratiquée sur le ressort CD. Quand la portée de ce crochet se trouve engagée sous le ressort, celui-ci est buté et ne peut plus bouger ; mais si le levier HI est incliné, le crochet H passe à travers l'entaille et laisse échapper le ressort CD, qui vient tomber sur une tige JK portée par un levier LM. Cette tige JK est mobile de bas en haut, et le levier LM, qui peut lui donner ce mouvement, fait partie du répartiteur. Ce répartiteur, comme celui des compteurs que nous avons décrits précédemment est composé des deux leviers courbes LV, QU fixés, l'un en Q, au point d'articulation de l'armature QR de l'électro-aimant S, l'autre en L, au point d'articulation des deux leviers LM, LN dont le

dernier commande le mouvement de la roue à rochet O. Cette roue se présente perpendiculairement par rapport à la platine de la pendule, et c'est elle dont l'axe porte une vis sans fin, qui détermine le mouvement de la minuterie.

Maintenant voici comment fonctionne cette pendule :

Le courant arrive de la pile par la pince n° 2 et monte dans le ressort EC, par l'intermédiaire du frotteur W. Dans la première impulsion du pendule vers la gauche, le bras ZX touche le ressort EC et permet au courant de descendre dans l'électro-aimant, en suivant le bras ZX, la tige AX, le ressort de suspension, puis la platine de la pendule à laquelle est fixée en *a* l'une des extrémités du fil de l'électro-aimant dont l'autre extrémité aboutit au second pôle de la pile par la pince n° 3. Sous l'influence de cette fermeture de courant, l'armature QR est attirée; son mouvement, transmis au levier-ressort LN par l'intermédiaire du répartiteur, pousse d'une dent le rochet O de la minuterie et l'aiguille avance d'un pas sur le cadran. En même temps le levier LM soulève le ressort CD par l'intermédiaire de la tige mobile KJ; mais également, au même instant, un petit doigt P, porté par les leviers LN et LM, réagit sur le ressort G faisant suite au levier HI, fait basculer ce dernier et l'amène à s'engager sous le ressort CD, ce qui lui est facile, puisque la tige JK soulève dans ce but ce ressort. Alors le ressort moteur se trouve, pour ainsi dire armé et tout disposé à réagir sur le pendule.

Lorsqu'en revenant vers la droite, le bras ZX du pendule a cessé de toucher le ressort CE, le circuit électrique est rompu, l'aimantation de l'électro-aimant cesse, la tige JK n'étant plus soulevée par le levier LM, laisse retomber le ressort CD sur le crochet H, et comme le doigt P n'agit plus sur le ressort G, le levier HI sollicité par un contre-poids G, se dégagera aussitôt que le ressort CD aura été soulevé par le balancier dans son oscillation vers la droite. Alors ce

ressort, en se détendant et revenant à sa position normale, pressera sur le balancier et lui rendra l'impulsion dont il a besoin pour continuer ses oscillations.

La pendule que nous venons de décrire a été compliquée d'un répartiteur électrique, pour qu'on puisse la faire marcher avec le moins de force possible; mais ce répartiteur n'est pas indispensable, et M. Robert-Houdin a pu la réduire à sa plus simple expression par la disposition ci-dessous, laquelle disposition ne diffère de celle que nous venons de décrire que par la position différente des pièces N L M et L P G, fig. 6, pl. VI.

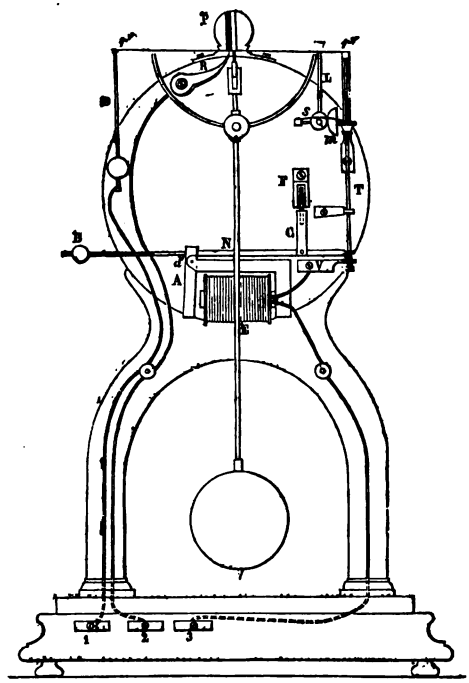


Fig. 4.

Dans ce modèle, le mouvement transmis à la tige T.

(figure ci-dessus), par l'armature A et le levier N, réagit sur le levier coudé d'encliquetage L, par l'intermédiaire d'un ressort S qui, étant soulevé par cette tige, permet au contre-poids *m* d'entraîner le levier L vers la droite pour le placer sous le ressort *r''* alors que celui-ci est soulevé par la tige T. Mais ce même mouvement, en repoussant de bas en haut le ressort C, fait avancer d'une dent le rochet F. La force antagoniste de l'armature A, qui est le ressort *r''*, se trouve alors réglée au moyen du contre-poids B placé sur le prolongement du levier N. Enfin, le butoir d'arrêt D peut servir d'interrupteur de courant à un compteur électro-chronométrique mis en relation avec cette pendule.

Pendule à sonnerie électrique, de M. Emile Robert-Houdin et Detouche. — Cette pendule que nous avons représentée fig. 7, Pl. VI, est identiquement semblable à celle que nous venons de décrire, quant au mécanisme destiné à donner l'heure. La seule différence qu'il y ait, c'est que l'électro-aimant au lieu d'être couché horizontalement à la partie inférieure de la platine, est placé verticalement sur le côté.

La sonnerie se compose : 1° d'un remontoir à détente, mis en mouvement par un électro-aimant spécial, et qui donne en même temps l'impulsion au marteau de la sonnerie ; 2° d'un système de sonnerie à râteau et à crémaillère commandé par un limaçon, comme dans les sonneries des comtoises ; 3° d'un timbre. Le mécanisme de cette sonnerie, qui est placé sur la seconde platine de la pendule, derrière le cadran, est représenté fig. 8. Pour qu'on puisse comprendre le rapport qui existe entre les deux figures, il nous suffira de dire que la roue pointillée O représente le rochet de la minuterie, et que le point d'articulation T de la fig. 8, correspond à l'articulation U de la fig. 7; le cliquet HT, fig. 8, et la branche UI du répartiteur, fig. 7, sont fixés sur le même axe.

Le remontoir à détente se compose d'un cliquet H, fig. 8, mis en mouvement par le répartiteur de l'électro-aimant E′ et d'un valet V qui est commandé par une goupille G, fixée sur la roue des minutes (de la minuterie), et qui est destiné à la double fonction de cliquet de retien et de détente. Le système de sonnerie à crémaillère est constitué d'abord par le râteau à crémaillère S, qui porte deux brides rigides E et F destinées à limiter sa chute, suivant les heures à sonner, et sur l'axe duquel est fixé un plateau métallique P portant une coche I; en second lieu, par un limaçon C L, divisé de manière à fournir au râteau S, qui doit le rencontrer dans sa course, douze chutes différentes en rapport avec les dents de la crémaillère. Ce limaçon est fixé sur l'axe de la roue des heures de la minuterie. Quant aux communications électriques, voici comment elles ont été établies :

La tige D, fig. 7, sur laquelle appuie le ressort R′ communique par un fil A qui traverse la platine avec un ressort R (fig. 8) qui appuie sur l'axe du râteau S. Un autre ressort R′, appliqué contre la circonférence du plateau P, communique par un fil passant par le trou B avec l'électro-aimant E′ qui est d'ailleurs en rapport avec le même pôle de la pile que l'électro-aimant E. L'appareil est tellement disposé que, quand la crémaillère du râteau S est remontée, le ressort R′ se trouve au-dessus de la coche I du plateau P. Voici alors ce qui arrive quand cette partie de la pendule doit entrer en fonction.

Au moment où l'heure va sonner, la goupille G de la minuterie pousse le valet V et désencliquète la crémaillère. Celle-ci tombe jusqu'à ce que les brides E, F aient rencontré le limaçon; mais comme ce limaçon est alors placé par la minuterie de manière à ne laisser au râteau qu'une chute en rapport avec l'heure à sonner, il peut arriver que la crémaillère ne tombe que de 1 ou de 6 dents,

si l'heure à sonner est une heure ou six heures. Sous l'influence de cette chute, le plateau P a tourné et se trouve mis en rapport avec le ressort R'. Dès lors le courant est fermé à travers l'électro-aimant E', fig. 7, chaque fois que le pendule oscille de gauche à droite. En effet, le ressort R appuyant alors sur la tige D, le courant va de R en R', de R' en D, de D en A, de A en R, fig. 8, de R en P, de P en R', de R' en B et de B à la pile, à travers l'électro-aimant E'. Pour chaque fermeture du courant, c'est-à-dire pour chaque demi-oscillation du pendule, il y aura donc un mouvement du cliquet H qui remontera d'une dent la crémaillère, en même temps qu'un coup sera frappé sur le timbre, et ce remontage s'effectuera jusqu'à ce que la crémaillère, étant replacée dans sa position initiale, le plateau P ne touche plus le ressort R'; alors le marteau cessera de frapper sur le timbre et le nombre de coups qui auront été frappés sera précisément égal au nombre de dents remontées, c'est-à-dire en correspondance avec la hauteur de chute du râteau limitée par le limaçon.

Pour les demi-heures, lorsque le râteau est dégagé, la bride E tombe sur une portion de circonférence C, fixée sur la chaussée qui empêche le râteau de tomber sur le limaçon, en sorte que chaque fois que cette partie C se rencontre sur le chemin des brides, il n'y a qu'une dent à remonter.

Si parfois la sonnerie venait à manquer, et que le râteau, ne fût pas relevé par l'électro-aimant, après avoir tombé, la partie C se chargerait de le remonter, de sorte que la pendule ne s'arrêterait pas pour cela.

Pendule électrique de M. Paul Garnier. — De même que M. Vérité, M. Paul Garnier a voulu utiliser l'électricité à faire mettre en jeu son système *d'échappement libre à remontoir,* qu'il avait imaginé dès l'année 1826. Dans cet ingénieux échappement les mécanismes sont combinés de

manière qu'une des oscillations du pendule s'opère sans que le rouage progresse et que l'aiguille des secondes ne se meuve qu'à chaque double oscillation; ce qui présente l'avantage d'obtenir la seconde fixe avec une pendule à demi-secondes.

La pendule de M. Paul Garnier, d'ailleurs assez compliquée, se compose : 1° d'un système électro-magnétique destiné à mettre en mouvement une roue motrice engrenant avec les roues de la minuterie ; 2° d'un système régulateur d'impulsion; 3° d'un système de détente servant en même temps de commutateur.

Le premier système est commandé par un électro-aimant MM, fig. 9, Pl. VI, réagissant sur une roue à rochet dont l'axe porte une roue d'engrenage A qui amplifie par son engrènement avec le pignon B le mouvement communiqué au rochet A′. Ce pignon B porte sur son axe, en dehors de la platine de la pendule, une roue C, figure 10, munie de dix chevilles perpendiculaires à son plan. La grande roue A a un diamètre six fois plus grand que ce pignon, et correspond à l'aiguille des secondes.

Le système régulateur d'impulsion se compose essentiellement d'une roue D, fig. 10, portant trois dents *a*, *b*, *c*, ayant des fonctions bien différentes à remplir. L'une *a*, est disposée de manière à être rencontrée par les chevilles de la roue C, au moment où cette roue est mise en mouvement sous l'influence électrique; l'autre *b*, est destinée à transmettre au pendule une impulsion résultant de la chute du poids moteur adapté sur l'axe de la roue D; enfin le troisième *c*, sert d'arrêt à cette roue après qu'elle a été rencontrée par la roue C. A cet effet, elle vient buter contre un talon *e*, placé sur un levier de détente E dont nous verrons à l'instant la fonction. En outre de ces trois dents, la roue d'impulsion D porte sur une des barrettes de sa croisée une petite goupille sur laquelle appuie, au moment de l'impul-

sion communiquée au pendule, une bascule F *f* portant un doigt *t* contre lequel viennent buter alternativement les ailettes d'un modérateur K. Ce modérateur, par l'intermédiaire d'un pignon fixé sur son axe, commande le mouvement de la roue à secondes A, fig. 9.

Le système de détente à commutateur consiste dans un levier E articulé en *i*, dont la pointe se trouve alternativement rencontrée à chaque double oscillation du pendule, par un petit butoir I fixé sur le prolongement H de ce pendule. Un ressort V, appuyé contre une goupille *e'* placée transversalement sur le levier E, est mis en relation électrique avec l'un des pôles de la pile, tandis que le levier E communique lui-même à l'électro-aimant par l'intermédiaire du ressort U. Voici maintenant comment s'effectue le jeu de l'instrument.

Quand le pendule est dans sa position verticale ou sur son oscillation de droite à gauche, le ressort V appuie contre la goupille *e'* du levier de détente E, et le courant électrique traverse l'électro-aimant commandant la roue C. Sous l'influence de l'attraction de cet électro-aimant, cette roue C avance de l'intervalle d'une cheville et repousse vers la gauche la roue de détente, dont la dent *c* vient s'engager sous le talon *e* du levier de détente E; alors le poids moteur *g* est remonté et reste maintenu dans cette position jusqu'à ce que le pendule, accomplissant son oscillation rétrograde, repousse par l'action du butoir I le levier de détente E, ce qui entraîne le dégagement de la dent *c* de la roue d'impulsion et la réaction de la dent *b* sur le butoir I du prolongement du pendule, réaction qui s'effectue sous l'influence du poids *g*. Le mouvement est donc ainsi restitué au pendule, mais en même temps que cette fonction s'opère, la dent *a* est venue buter contre l'une des chevilles de la roue C; ce qui limite la course du poids moteur, et la bascule F*f* s'est trouvée soulevée par la gou-

pille *f* fixée sur le croisillon de la roue D. Ce soulèvement a permis le dégagement du modérateur K, qui a laissé tourner la roue A de l'intervalle d'une seconde. Enfin, le courant ayant été rompu par l'éloignement du ressort V du levier de détente, la roue C ne peut plus réagir que lorsque le pendule, accomplissant une nouvelle oscillation de droite à gauche, a de nouveau permis la jonction du ressort V et du levier E; alors les fonctions que nous avons décrites se renouvellent et le pendule continue ainsi son mouvement indéfiniment.

C'est le contact du ressort V avec le levier E que M. Paul Garnier a utilisé pour la marche de ses compteurs à seconde. Il paraît, du reste, que ce système d'horloge électrique, dont le Conservatoire des Arts et Métiers a fait l'acquisition, marche parfaitement.

D'après la description que nous avons faite de la pendule de M. Paul Garnier, on peut comprendre facilement que tous les systèmes d'échappements libres, tels que ceux de M. Houdin et de tant d'autres, peuvent être facilement transformés en pendules ou en horloges par l'adjonction de l'action électrique. Aussi je ne doute pas que d'ici à quelques années chaque horloger n'ait son système d'horloge électrique.

Pendule électrique de M. Breguet. — Il y a quelques années, M. Breguet cherchant à obtenir une pendule sans remontage, fut conduit à faire réagir un électro-aimant sur un ressort en spiral commandant directement une roue d'échappement. Il obtint de cette manière une pendule électrique fonctionnant sous l'effort d'un ressort tendu sans cesse d'une manière parfaitement égale. Ne s'étant pas préoccupé davantage de cette invention, et ne l'ayant pas même publiée, il eut bientôt occasion de voir que cette même idée avait été mise à exécution, et même brevetée, par M. Leroy de Reims. Pour conserver ses droits de priorité,

M. Breguet acheta le brevet de M. Leroy, et c'est eu égard à cette circonstance que plusieurs personnes ont été induites en erreur relativement à l'invention de ce système d'horlogerie électrique.

La pendule de M. Breguet est représentée fig. 7, 8, 9 et 10, pl. VII. Dans les fig. 9 et 10, on voit le système de remontoir de la roue d'échappement. Il se compose : 1° d'une roue d'échappement J sur laquelle réagit le balancier de la pendule; 2° d'une roue à rochet K qui est mise en action par l'électro-aimant moteur; 3° enfin d'un spiral S dont l'extrémité intérieure est fixée sur l'axe I K commun aux deux roues, et dont l'extrémité extérieure est fixée sur l'un des rayons de la roue à rochet K. Cette dernière roue au lieu d'être montée sur l'axe I K, tourne sur lui à frottement libre et n'est maintenue que par le spiral S et le cliquet de retien M. Ce remontoir se distingue aisément dans la fig. 7, derrière la tige du balancier H H de la pendule.

L'électro-aimant moteur est en A ; il peut être plus ou moins rapproché de son armature E par la vis de rappel V. Cette armature est articulée en E, et porte une tige rigide E′ fixée à peu près à angle droit sur elle, et maintenue inclinée vers la droite par un ressort antagoniste G. Cette tige rigide, dont le mouvement de gauche à droite est limité par deux vis, comme on le voit sur la figure, est munie de deux cliquets L et N qui réagissent sous l'influence des deux mouvements opposés de l'armature. Quand celle-ci est attirée, le cliquet N fait avancer d'une dent le rochet O qui commande la minuterie par la roue intermédiaire O′ avec laquelle elle engrène; en même temps le cliquet L recule d'une dent sur le rochet K du remontoir. Quand, au contraire, l'armature est repoussée sous l'influence du ressort antagoniste C, cette roue K se trouve avancée d'une dent, et par suite le spiral est tendu de la quantité correspondante à ce mouvement. Comme le courant est fermé

à travers l'électro-aimant A, par le ressort flexible I à chaque oscillation entière du balancier de la pendule, il en résulte que pour chaque échappement de la roue J, un remontage s'effectue, et si ce remontage est convenablement calculé, on obtient une force constante qui réagit d'une manière continue sur le balancier de la pendule et en entretient le mouvement.

M. Breguet a appliqué ce même système de remontage à un mécanisme de sonnerie qui fait de sa pendule une pendule électrique sonnante dans le genre de celle de M. Detouche. Cette disposition est représentée fig. 8. Elle consiste dans l'addition d'un mouvement de sonnerie de pendule ordinaire dont l'axe du barillet porte une deuxième roue munie d'un encliquetage. Cet encliquetage est retenu par le bout du ressort moteur de la sonnerie, par des pignons et des roues dont les nombres de dents sont calculés pour que la pendule, dans les vingt-quatre heures de marche, remonte le ressort autant que la sonnerie, en fonctionnant, l'a descendu pendant cet intervalle de temps. C'est l'armature E qui réalise cet effet par l'intermédiaire du cliquet N sur le rochet O, lequel, dans ces sortes de pendules devient le dernier mobile du remontoir de ces sonneries.

Pendule électrique de MM. Mouilleron et Anthoine. — La pendule électrique de MM. Mouilleron et Anthoine est fondée sur le même principe que celle de M. Breguet; seulement, pour donner plus de sûreté à l'action de remontage du spiral de la roue d'échappement, et pour regagner la force perdue en cas de manque de certains contacts de l'interrupteur, MM. Mouilleron et Anthoine ont donné à la roue à rochet du remontoir un moins grand nombre de dents qu'à la roue d'échappement, ce qui fait que, pour chaque oscillation du balancier, la roue à rochet monte le spiral d'une quantité plus grande que celle qu'il a perdue

par l'échappement de la roue. Cette disposition à forcément entraîné un mécanisme de détente susceptible d'empêcher l'action de remontage après une tension suffisante du spiral. Sans ce mécanisme, en effet, la pendule serait immédiatement arrêtée.

Les fig. 11 et 12, Pl. VI, représentent la disposition de la pendule de MM. Mouilleron et Anthoine.

Sur la tige Z, fig. 12, qui porte la roue d'échappement F, est fixée par son centre le spiral C, dont l'extrémité extérieure est articulée sur la roue à rochet DD. Cette dernière roue reçoit son mouvement d'un cliquet d'impulsion S, et se maintient fixe après l'action de celui-ci par un cliquet de retien V. Le cliquet d'impulsion S, fig. 11, est porté par un levier articulé K K dont l'extrémité libre est soutenue par un levier coudé N O L, sur lequel réagit l'armature P de l'électro-aimant R, par l'intermédiaire de la fourchette P L. Enfin le contact électrique s'opère en T par l'intermédiaire d'une cheville de platine adaptée à l'ancre d'échappement et qui vient rencontrer le ressort T.

Avec cette disposition on comprend qu'à chaque oscillation complète du balancier de la pendule, le courant électrique étant fermé à travers l'électro-aimant M, la palette P pousse le levier L O N de bas en haut et réagit ainsi sur le cliquet d'impulsion V, dont le mouvement est calculé de manière à faire avancer le rochet de deux dents à la fois. Il arrive donc que la quantité dont s'est détendu le spiral, à chaque demi-oscillation du balancier, se trouve regagnée après chaque oscillation entière de celui-ci par l'action électrique sur le rochet D D, et par conséquent la pendule est sans cesse remontée.

La roue d'échappement, dans la pendule de M. Mouilleron, a 60 dents, tandis que le rochet du remontoir en a 116. Le nombre de dents de ce rochet correspondant à celui des dents de la roue d'échappement devrait être 120. Il en ré-

sulte donc que chaque bandage de la roue à rochet, par l'électro-aimant, dépasse le débandage de l'échappement de 2/60. C'est précisément ce surplus d'action mécanique qui est destiné à compenser la force perdue en cas de manque d'un ou plusieurs contacts de l'interrupteur. Maintenant, pour éviter une trop grande tension de la part du spiral dans le cas où tous les contacts seraient bons, un levier A A, fig. 11 et fig. 12, pivotant en y, se trouve disposé parallèlement au rochet de manière à réagir par son extrémité libre sur le cliquet d'impulsion V ou sur un disjoncteur du courant, quand il est repoussé en dehors. Un levier recourbé Bx', fixé sur le rochet et articulé en X', peut opérer cette répulsion qui se manifeste quand une goupille x, adaptée sur la roue d'échappement, vient à le rencontrer. Or cette rencontre n'a lieu que quand les deux roues, qui ne marchent pas tout à fait synchroniquement à cause de l'avance de 2/60 donnée à la roue de rochet pour chaque impulsion du cliquet V, sont en discordance trop grande, ce qui suppose alors une trop forte tension de la part du spiral. Dans ce cas, le levier AA écarte le cliquet d'impulsion du rochet V, ou rompt le courant jusqu'à ce que la goupille, ayant repris de l'avance, ait permis au levier Bx' de retomber sous l'influence du ressort antagoniste U. Ainsi, comme on le voit, on n'a jamais à craindre, avec cette disposition, que le spiral manque de force ou soit trop tendu, ce qui est d'une grande importance pour la régularité de marche de la pendule.

Les engrenages que l'on distingue dans la figure 12, entre les deux platines de la pendule, sont des roues de renvoi pour la minuterie et un système d'engrenage à vis sans fin destiné, comme celui du compteur de M. Robert Houdin, à servir d'intermédiaire entre la roue d'échappement et la minuterie. Celle-ci se voit en dehors de la platine de droite avec les deux aiguilles qu'elle commande.

Cette pendule, assurent MM. Mouilleron et Anthoine, ne réclame qu'une très-petite force pour marcher. Ainsi un élément de Daniell (de petite dimension), suffit pour bander complétement le spiral. Elle peut aussi servir de régulateur pour réagir sur des compteurs électro-chronométriques.

Horloge électrique à sonnerie de M. Royer. — Cette horloge, que nous avons représentée fig. 13, n'est, quant au mécanisme qui fait fonctionner les aiguilles, que la reproduction du système de M. Liais; mais l'auteur lui a adjoint un système de sonnerie électrique particulier dont l'organe régulateur n'est plus le râteau des sonneries de comtoises, comme dans la sonnerie de M. Robert Houdin, mais la roue de compte ou le chaperon des pendules ordinaires.

Cette sonnerie a pour organes sensibles deux électro-aimants spéciaux, et pour moteur l'un des deux électro-aimants qui entretiennent le mouvement du pendule, en sorte que cette horloge est munie de 4 électro-aimants. Voici comment ils sont combinés.

La roue des minutes de la minuterie de l'horloge porte aux deux extrémités d'un même diamètre correspondant aux chiffres 12 et au chiffre 6 du cadran, deux chevilles sur lesquelles commence à appuyer, quelques instants avant l'arrivée de l'aiguille des minutes aux chiffres 12 et 6, une bascule métallique AB (fig. 14) portant un ressort d'argent. Cette bascule est indiquée en pointillé dans la fig. 13, parce qu'elle se trouve placée, ainsi que la minuterie, sur la face opposée à celle qui est représentée.

En face du ressort d'argent porté par cette bascule s'en trouve un autre CD mis en relation avec un électro-aimant M et un pôle de la pile. Il arrive donc qu'au moment où l'heure va sonner, la bascule AB opère entre les deux ressorts un contact métallique qui peut mettre en fonction l'électro-aimant M dont nous allons voir la fonction. Toutefois,

comme la fermeture opérée ainsi serait de trop longue durée, un système rhéotomique du genre de celui que nous avons décrit page 307 de notre premier volume, a dû être ajouté; et voici comment il se trouve disposé :

La roue à rochet qui met en mouvement la minuterie dans l'horloge de M. Royer, et sur laquelle agissent les armatures des électro-aimants qui entretiennent le mouvement de la pendule, n'est pas montée sur le même axe que la roue des minutes; c'est par une roue intermédiaire S que se fait la transmission. Or cette roue intermédiaire porte à son tour deux chevilles dont la position correspond à celle des chevilles de la roue des minutes, c'est-à-dire qu'elles sont disposées de manière que toutes les fois que ces dernières opèrent le contact électrique dont nous avons parlé précédemment, elles peuvent en opérer un semblable entre deux autres ressorts E F, G H disposés en conséquence; seulement, comme cette roue intermédiaire tourne beaucoup plus vite que la roue des minutes, plusieurs fermetures de courant peuvent être produites sur ce second interrupteur, sans qu'elles existent sur le premier; mais comme le courant est obligé de passer par les deux interrupteurs à la fois, il n'y a que celles qui sont faites simultanément, c'est-à-dire aux heures et aux demi-heures, qui soient effectives. Il résulte de cette disposition que le contact métallique ne dure pas plus de deux secondes, et que la prolongation de l'action électro-magnétique ne peut gêner les mouvements mécaniques que nous allons maintenant décrire.

Sous l'influence de cette fermeture de courant opérée à chaque heure et à chaque demi-heure, l'électro-aimant M est mis, comme nous l'avons déjà dit, en activité, et son armature attirée, tout en soulevant, par l'intermédiaire des leviers A B, C D, fig. 13, une détente E F enfoncée dans celle des coches de la roue de compte O qui correspond à l'heure qui doit sonner, débride une tige d'encliquetage H I mise

en mouvement continuel de va-et-vient par l'armature de l'un des électro-aimants M′ de l'horloge à laquelle elle est fixée. Ce débridement s'opère au moyen de la tige DG, qui est articulée d'un côté au levier CD portant la détente EF, et de l'autre à un petit levier fixé sur le même axe que le levier GL. Ce dernier levier, qui porte un galet L, sur la gorge duquel passe la tige HI, est en temps ordinaire incliné vers la droite de manière à écarter le crochet HI de la roue de compte; mais quand l'heure doit sonner, il se trouve relevé par la tige DG, et dès lors le ressort R pousse la tige HI contre la roue à rochet sur laquelle est appliquée la roue de compte. Comme le mouvement de cette tige HI est continuel, elle met en mouvement ce système de roues qui avance d'une dent pour chaque attraction de l'armature de l'électro-aimant M′ et établit un contact métallique qui a pour effet la fermeture alternative du courant à travers l'électro aimant M‴. Celui-ci fait alors frapper sur le timbre T le marteau V par l'intermédiaire de son armature et le nombre de coups frappés est en rapport avec la largeur du cran de la roue de compte qui échappe, c'est-à-dire avec le nombre de dents du rochet qui correspond à ce cran. Quand ce cran s'est ainsi échappé sous l'influence des attractions successives de la tige d'encliquetage HI, la détente EF retombe dans une coche; et comme le courant qui l'avait primitivement soutenue n'existe plus, le levier GL est encore incliné vers la droite et repousse la tige HI qui ne peut plus dès lors agir sur le rochet de la roue de compte. A la prochaine fermeture du courant, c'est-à-dire une demi-heure après, la détente et cette tige se trouvent de nouveau soulevées, et le mécanisme recommence à fonctionner comme précédemment. Nous ferons remarquer, toutefois, que la roue de compte, dans ce système de sonnerie, doit présenter au milieu de chaque coche séparant les crans des heures, un

petit cran pour permettre la sonnerie des demi-heures.

Ce système d'horloge électrique à sonnerie, qui est le premier qu'on ait exécuté [1], avait été disposé dans l'origine pour marcher avec deux piles, mais en n'employant pas l'électro-aimant M″ pour l'entretien de la marche du pendule; on pourrait le faire fonctionnor avec une pile seulement.

Dans la fig. 13, les électro-aimants moteurs M′ M″ sont vus de champ, c'est-à-dire que leur deuxième bobine est cachée. Leurs armatures se distinguent en K et en N; P, P′ sont les butoirs d'arrêt de ces armatures et S, S′ leurs cliquets d'impulsion réagissant sur la minuterie. Les appendices X, X′ sont de petits anneaux portés par les armatures K et N, et destinés à relever les poids moteurs après qu'ils ont accompli leur effet. Enfin Z, Z′ sont les vis de rappel ayant pour fonction de limiter la course des poids moteurs. Le pendule est en Y.

Horloge à sonnerie de M. Lasseau. — Dernièrement un inventeur de Montbéliard, M. T. Lasseau, croyant sans doute avoir le premier exécuté une horloge à sonnerie, écrivait à M. Victor Meunier la lettre suivante :

« Monsieur,

« L'application de l'électricité aux machines en général et à l'horlogerie en particulier, est une question à l'ordre du jour. Il appartenait à l'électricité, cet agent mystérieux, qui ne tient aucun compte du temps, de le mesurer avec une précision mathématique. Déjà les horloges électriques construites en France et en Angleterre ont attiré l'attention par la simplicité de leur mécanisme et surtout par la parfaite régularité de leur marche. Il s'agissait donc de com-

1. Janvier 1855.

pléter ces admirables instruments en leur faisant sonner les heures, et de les mettre ainsi à même de remplacer avec avantage et sous tous les rapports, les pendules ordinaires.

« C'est ce but que j'ai essayé d'atteindre en construisant une horloge électrique marquant les minutes et les secondes et sonnant les heures.

La disposition de la sonnerie de cette horloge est aussi simple que sûre ; il n'y a *aucun rouage;* un électro-aimant, un râteau ouvrant et fermant le courant, un limaçon et une détente composent tout le mécanisme. La marche du pendule sert de rouage modérateur.

« Je pourrais ajouter que cette sonnerie, sans aucun mécanisme additionnel, frappe à volonté les secondes sur le timbre, et peut devenir ainsi un instrument d'observation. Toutes ces fonctions étant indépendantes du pendule, ne peuvent en aucune manière, détruire l'isochronisme de ses oscillations.

« L'horloge marche avec une pile composée d'un seul couple, et bien que sa régularité ne dépende pas de l'intensité du courant, j'ai dû modifier la pile de Daniell, ordinairement employée, de manière à rendre son usage facile et commode.

« Cette pile, ainsi modifiée, présente toutes les garanties de force, de constance et de propreté que l'on peut exiger.

« Une autre difficulté à combattre pour la marche et la durée d'une horloge électrique, c'est l'étincelle d'induction produite par l'établissement et surtout par la rupture du circuit, c'est une cause de destruction plus ou moins rapide des points de contact.

« Par l'emploi de fils de cuivre non enveloppés dans la construction des électro-aimants, je suis parvenu à annuler complétement l'étincelle.

« Le résultat assure aux diverses fonctions une sécurité parfaite.

« Une boîte de 35 centimètres de hauteur sur 22 de largeur, renferme cette horloge.

« J'ai l'honneur, etc., etc. »

Horloge électrique de M. Grasset de Genève. — L'horloge de M. Grasset a été imaginée en 1853 et exposée à la société des arts de Genève en 1854. Elle est donc une des premières qui aient été construites. Aujourd'hui elle est installée à l'observatoire de Genève ou elle fonctionne d'une manière satisfaisante. Le principe sur lequel est fondée cette horloge est toujours celui de l'horloge de M. Liais, seulement la disposition des poids moteurs est différente, et tout le système est porté sur un cadre oscillant de manière à pouvoir être toujours équilibré.

Dans la figure 13, pl. VII, la moitié seulement de l'horloge de M. Grasset est représentée. Elle est vue en coupe verticale. Le pendule est en AB, il oscille sur deux couteaux CC′ appuyés sur des plans d'agate DD′. A quelque distance de ces couteaux se trouvent adaptés sur la tige même du pendule deux butoirs E, E′ sur lesquels viennent réagir les poids moteurs PP′ par l'intermédiaire des leviers ILP, I′L′P′ l'écart de ces pièces est réglé par les vis de rappel G, G′.

Le châssis oscillant est figuré en MN. M est le derrière du cadre et N un des côtés vu en coupe, la vis NQ, avec son contre-écrou O fixé sur le support rigide RR, est un des pivots d'oscillation de ce cadre. On comprend qu'avec cette disposition le pendule appuie toujours également sur ses deux couteaux, ce qui n'aurait pas lieu avec un système fixe.

L'un des deux électro-aimants destinés à réagir sur les poids moteurs est en S; il est vu de champ sur la figure, ce qui fait qu'on ne distingue qu'une de ses bobines; les pôles sont en T, et l'armature T, portée sur une palette de cuivre, est maintenue à distance par un ressort antagoniste U et un butoir d'arrêt à vis de rappel. C'est sur cette armature

qu'appuie le levier IJ qui supporte le système moteur P, et qui est articulé au châssis en I. A cet effet ce levier se recourbe en V et vient s'articuler de nouveau sur le châssis du côté opposé à I, de manière à constituer une sorte de mâchoire articulée, et c'est sur une traverse L (vue en coupe) unissant deux points opposés de cette mâchoire qu'est fixé le levier LP sur lequel est vissé le poids P.

L'interrupteur ou plutôt le commutateur, car dans l'horloge de M. Grasset la quadrature est indépendante du système moteur, est placé à la partie supérieure de l'instrument, et se trouve mis en jeu par une petite palette rigide X adaptée à l'extrémité du prolongement de la tige du pendule; ce commutateur est représenté avec détail fig. 14, pl. VII. Il se compose d'un levier AB portant en CD un grand cercle évidé muni de deux vis de rappel E, E'. Ce levier pivote en B autour d'une pointe d'acier portée par le pilier GH, et se termine en I par une lame flexible d'or qui appuie sur trois plaques d'or isolées montées sur la colonne IK. Enfin une lame de ressort, en fourchette GL, à travers laquelle passe la pointe d'acier B, permet d'établir un contact parfaitement intime entre la colonne BH et le levier AB. C'est entre les deux vis E, E' du cercle CD qu'oscille la palette X du pendule de l'horloge, de sorte que le commutateur que nous venons de décrire, se présente vu de champ sur la fig. 13, et c'est pour cela que nous n'avons représenté dans cette figure que le cercle CD de ce commutateur. Voici maintenant comment cette horloge fonctionne en admettant que les plaques *a*, *b*, *c* (fig. 14) du commutateur soient en rapport : la première *a* (qui est au-dessus et au milieu des deux autres) avec le cadran compteur et les plaques *b* et *c* avec les deux électro-aimants S S' :

Quand le pendule incliné vers la droite aura reporté la lame I du commutateur sur la plaque *b*, le courant sera fermé dans l'électro-aimant S. Son armature étant attirée

laissera libre le poids P qui appuiera en E sur le pendule et contribuera à le faire rétrograder. Quand celui-ci passera à la verticale la plaque *a* du commutateur sera rencontrée et le compteur fonctionnera, mais l'électro-aimant S étant devenu inerte, le poids P sera reporté à sa position initiale. Enfin quand le pendule aura atteint le point extrême de son oscillation de gauche, l'électro-aimant S′ deviendra actif et réagira comme l'électro-aimant S.

M. Grasset aurait pu combiner d'une manière plus simple son interrupteur en faisant réagir directement la tige du pendule AB sur les leviers moteurs en G et en G′, mais il a mieux aimé le rendre complétement indépendant pour plusieurs raisons : d'abord parce que la disposition que nous avons décrite lui permet de dériver son courant sur deux électro-aimants avant que de l'interrompre, ce qui diminue beaucoup les oxydations dues à l'étincelle ; en second lieu parce que le passage de l'électricité par les couteaux et les plans d'acier auraient pu en altérer le poli ; enfin parce qu'il croit que le choc brusque de la tige du pendule contre les poids moteurs, doit donner quelquefois lieu à certaines trépidations qui peuvent réagir d'une manière fâcheuse sur la régularité d'action de la force électro-motrice.

Instruments électro-chronométriques de l'Observatoire impérial de Paris. — Nous avons déjà eu occasion de décrire, avec tous les détails nécessaires, l'ingénieuse horloge de M. Liais qui depuis deux ans est installée à l'Observatoire de Paris ; mais cet appareil électro-chronométrique n'est pas le seul qu'on rencontre dans ces établissement. M. Le Verrier, qui a déjà réalisé tant de perfectionnements et d'améliorations dans la disposition et l'organisation de l'Observatoire de Paris, ne pouvait rester en arrière dans une question qui intéresse à tant de titres l'astronomie. Dans une visite détaillée que cet illustre savant a eu l'obligeance de me faire faire à travers son établissement, j'ai pu

m'assurer en effet avec quelle intelligence et avec quel soin minutieux tous les appareils électriques avaient été disposés.

Les appareils électriques de l'Observatoire de Paris consistent, 1° dans une horloge électrique (déjà décrite); 2° dans plusieurs compteurs électriques, de différents systèmes; 3° dans une horloge type en rapport avec quelques-uns des compteurs précédents; 4° dans des accélérateurs et retardateurs électriques; 5° dans des chronographes électro-chimiques; que nous étudierons avec détail dans le prochain chapitre. Il y a en outre une installation télégraphique pour correspondre avec le ministère de l'intérieur, et de là avec les différentes lignes qui rayonnent vers Paris. Quarante-cinq éléments de Daniell, distribués par groupes (sur les différentes étagères d'une grande armoire), et mis en rapport avec vingt fils télégraphiques à travers un commutateur très-savamment combiné que nous aurons occasion de décrire plus tard, peuvent être employés au service de ces différents instruments.

Des différents compteurs installés à l'Observatoire de Paris, celui qui a donné les meilleurs résultats est celui de M. Liais, que nous avons représenté fig. 16, pl. VII. Il a été combiné de manière à ce que l'on puisse contrôler sa marche à distance et à fonctionner avec le moins de force possible.

Pour résoudre ce dernier problème, M. Liais a rendu les ressorts sollicitant les cliquets, le plus flexibles possible et susceptibles d'avoir leur tension réglée à volonté. Les cliquets eux-mêmes, au moyen de vis de rappel et de glissières, peuvent avoir leur position déterminée d'une manière tout à fait rigoureuse. C'est à cet effet que ce compteur s'est trouvé compliqué de toutes les pièces accessoires qu'on remarque sur la figure. Avec une force si minime de tension dans les ressorts des cliquets, les systèmes de butoirs d'arrêt que nous avons décrits dans la première

partie de ce chapitre ne sont plus suffisants, et c'est pour les remplacer, que la roue RR et les cliquets d'arrêt ABCD, EF, ont dû être ajoutés au système compteur. Le crochet EF, qui peut être plus ou moins avancé de F en E à l'aide de la vis V poussant un chariot *ef*, et qui peut être plus ou moins incliné sur la roue RR à l'aide de la vis V′, joue le rôle de cliquet d'arrêt ordinaire. Le système d'encliquetage ABCD, qui se compose d'un levier coudé BCD, muni à son extrémité d'une cheville D, a pour effet d'embrayer la roue RR, quand l'armature de l'électro-aimant revient à sa position normale. On pourrait croire que, grâce au cliquet de retien GH du rochet moteur, cet encliquetage ne serait pas nécessaire ; mais il n'en est pas ainsi, à cause du petit diamètre de ce rochet moteur et des saccades qu'imprime au système le crochet EF quand il vient buter contre une dent de la roue RR. Ainsi dans le compteur de M. Liais, il existe quatre cliquets et une roue de sûreté, laquelle est munie comme la roue motrice de soixante dents.

Pour contrôler à distance la marche du compteur, et le remettre à l'heure s'il n'y était pas, M. Liais a ajouté à son instrument le système IJK, qui se compose d'un ressort IJ dont la position peut être réglée d'une manière absolue, au moyen des vis de rappel K, L et L′. A portée de ce ressort, est fixée, sur la circonférence de la roue RR, une goupille M, dont la position est en parfaite correspondance avec l'aiguille des secondes. Avec cette disposition, si une communication électrique relie le ressort IJ avec un second compteur à minutes placé près de l'horloge type de la station qui envoie l'heure, il arrivera que toutes les minutes un courant sera fermé à travers ce dernier compteur par la goupille M, de sorte que le compteur à secondes, jouera le rôle d'horloge type par rapport au compteur à minutes. Si le compteur à secondes marche d'accord avec l'horloge type, le circuit du compteur à minutes se trouvera fermé au

même instant que l'aiguille à secondes de l'horloge type arrivera à zéro, ce que l'on peut vérifier, puisque ces deux instruments sont placés l'un à côté de l'autre ; mais s'il y a une différence on sera averti par là, que quelques contacts de l'interrupteur de l'horloge type ont manqué, ou se sont doublés, et à l'aide d'un interrupteur que l'on manœuvre à la main, on avancera ou on retardera le compteur à secondes de la quantité nécessaire.

Le compteur de M. Liais devant être installé à la Bourse de Paris et devant fournir l'heure de l'Observatoire, on comprend quel rôle important joue, dans cet appareil, ce système contrôleur, puisqu'il peut dispenser d'envoyer chaque jour contrôler l'heure indiquée.

Dans la figure 16, pl. VII, le ressort antagoniste de l'armature est une lame de ressort ST, dont la tension est réglée par la vis V″. L'articulation de cette armature est constituée par une lame de ressort O. Le long ressort flexible QP est celui qui agit sur le cliquet de retien GH; il peut être réglé au moyen de la vis U. Le crochet d'impulsion est en GZ.

Les accélérateurs et retardateurs adaptés à l'horloge type de l'Observatoire sont représentés fig. 15, pl. VII. Leur principe diffère un peu de ceux que nous avons déjà décrits.

L'accélérateur consiste dans un levier coudé ABC, oscillant en B, et portant un contre-poids P. L'extrémité A de ce levier est munie d'une petite palette que peut rencontrer le pendule XY en oscillant. En temps ordinaire, ce levier est maintenu éloigné du pendule par le compas DEF, que l'on incline d'un côté ou de l'autre, à l'aide de fils FG, FH et d'anneaux G et H. A cet effet, ce compas est vissé à frottement dur en son point d'articulation E. Quand on veut faire réagir l'accélérateur, on tire l'anneau G, et aussitôt la palette A étant rencontrée par le pendule, réagit sur lui en tendant à diminuer l'amplitude de ses oscillations.

Celles-ci s'effectuant alors dans un temps plus court, l'accélération du mouvement a lieu.

Le retardateur est un peu plus compliqué dans sa construction, bien que le principe en soit très-simple. Il consiste dans un levier oscillant, IJ, terminé en I, par une masse pesante, et maintenu dans une position fixe par un encliquetage KLMNT, dont le crochet KLO est articulé sur une douille fixe KP. Tant que le crochet O de cet encliquetage est maintenu sur le crochet MN, le pendule XY est libre, mais aussitôt qu'à l'aide d'un cordon *cd* on incline le compas *abc*, ce crochet MN se trouve écarté par suite de la traction exercée sur le fil *ae*, et le crochet KLO se dégage. Alors l'entaille U, ménagée sous ce dernier crochet, vient bientôt s'enfourcher sur une cheville adaptée à un levier VV, fixé sur la tige du pendule, et le système oscillant IJ participe au mouvement de celui-ci. Comme les oscillations des deux tiges oscillantes s'effectuent en sens conraire, c'est-à-dire que l'une s'abaisse quand l'autre se relève, le mouvement du pendule se trouve retardé. Quand le retard qui a été jugé nécessaire est effectué, on accroche de nouveau le crochet KLO sur le crochet MN à l'aide du compas RQP, dont la branche P porte une cheville et dont la branche R est reliée à un cordon RS. Ce compas revient à sa position initiale après avoir été tiré, par l'intermédiaire d'un ressort *r*. Les deux appendices qui se trouvent placés des deux côtés de l'entaille U, servent à empêcher la chute du crochet KLO en dehors de la cheville V, quand la position de cette cheville ne correspond pas à celle de l'entaille U au moment de cette chute. Enfin le crochet T sert de guide au crochet KLO.

Pour que ces accélérateurs et retardateurs n'arrêtent pas la marche de l'horloge, il est nécessaire, au moment où on les met en action, de rendre les poids de cette horloge plus pesants, ce que l'on fait au moyen d'un poids ad-

ditionnel, que par un système de poulies on amène a appuyer sur les contre-poids eux-mêmes.

Ce système d'accélérateurs et de retardateurs a été combiné par MM. Liais et Robert.

Il existe encore une foule d'autres systèmes d'horloges électriques imaginés par plusieurs constructeurs suisses, belges, allemands et anglais; mais comme ils se rapportent plus ou moins aux différentes horloges que nous avons décrites, je n'en parlerai pas davantage.

CONCLUSION.

D'après ce que nous venons de dire dans ce chapitre, on voit que la mesure du temps par l'électricité, n'est pas, comme bien des personnes se l'imaginent, une découverte encore dans l'enfance et qui exigerait de nombreux perfectionnements. Sauf la question pratique de son application sur une échelle très-considérable, le problème de l'horlogerie électrique est aujourd'hui résolu. On voit chez M. Froment une pendule électrique qui marche depuis plus de huit ans d'une manière non interrompue, transmettant dans ses ateliers l'heure, la minute, la seconde à de nombreux cadrans. Dans une autre horloge qui marche depuis près de quatre ans, les mouvements électriques ne se sont pas arrêtés un seul instant. Ajoutons que l'expérience a prouvé que les appareils du même genre construits par les divers artistes de l'Europe, satisfont très-bien aux conditions qu'il s'agit de remplir.

On peut donc conclure, sans rien avancer de douteux, que dans les conditions actuelles de l'art de l'horlogerie électrique, la répartition électrique de l'heure, non-seulement pourrait et devrait être faite dans les différentes villes de l'Europe, mais encore que les régulateurs-types de ces différentes villes pourraient être réglés eux-mêmes

d'après l'heure fournie télégraphiquement, une fois par jour, par les observatoires astronomiques.

Déjà au moyen de la liaison télégraphique qui existe entre l'observatoire de Greenwich, la station centrale au pont de Londres et la Compagnie du chemin de fer du Sud-Est en Angleterre, des signaux horaires donnant exactement le temps moyen de Greenwich sont transmis aux bureaux de la Compagnie du télégraphe électrique à Lathburg, dans le Strand à Londres, à Tunbridge, à Deal, à Douvres, plusieurs fois par jour. La chute de ballons-signaux est déterminée sur la tour du Strand et à Liverpool simultanément avec la chute du ballon de Greenwich, à une heure de l'après-midi. Pareils systèmes ont été installés à Liverpool et à Édimbourg. « Dans cette dernière ville, dit « M. Airy, le ballon-signal a été installé sur la haute tour « du monument de Nelson, dans le voisinage de l'obser- « vatoire; il est en liaison immédiate avec l'horloge des « passages, qui le fait tomber au moment voulu. Depuis trois « mois que cet appareil fonctionne, il s'est montré *si exact*, « *si grandement utile*, que des dispositions sont prises pour « installer de semblables ballons à Glascow, à Greenock, « à Dundée et autres ports de l'Écosse. La chute de tous « ces ballons sera déterminée simultanément par un signal « parti de l'observatoire d'Édimbourg. »

Après de tels témoignages, après la réussite de l'établissement des compteurs électro-chronométriques dans les villes de Gand et de Leipzig, il serait réellement honteux pour la France de ne pas tenter l'établissement en grand de la répartition électrique de l'heure. De nombreux projets ont été proposés à ce sujet, mais aucun jusqu'à présent n'a reçu d'exécution. Ainsi M. Leverrier, directeur de l'Observatoire de Paris, devait fournir télégraphiquement l'heure, une fois par jour, aux cinq grands ports militaires de France et à la Bourse de Paris. Le port militaire de

Cherbourg devait posséder à l'entrée de l'avant-port et en vue de la rade, un grand cadran électro-chronométrique marchant sous l'influence de l'horloge de l'observatoire du port, et devant donner l'heure non-seulement au port, mais encore en rade. Le comité des architectes de Paris avait adopté un système de distribution de l'heure dans les différents quartiers de Paris, proposé par M. Paul Garnier. Tous ces projets ne sont encore que sur le papier ; quand donc seront-ils assez mûris?....

Quelques mots encore avant de terminer ce chapitre sur les systèmes proposés pour la distribution de l'heure dans les grandes villes.

Dans le système de MM. Storer et Scholle de Leipzig, les rues de la ville devraient être partagées en groupes ; chaque groupe serait pourvu de son fil conducteur fixé contre les murs extérieurs et mis plus complétement à l'abri dans l'intérieur des habitations. Tous ces conducteurs aboutiraient à une horloge-type installée à l'hôtel de ville. Les conducteurs voltaïques qui font marcher les aiguilles sur le cadran de chaque maison s'embrancheraient et se tendraient sur le conducteur principal. D'après le devis présenté par les auteurs de ce système, ces fils d'embranchement devraient coûter à peu près 1 franc le mètre et être à la charge du propriétaire ou du locataire de la maison ; celui-ci aurait à payer de plus 6 ou 8 francs par année, suivant les dimensions du cadran ; mais il n'aurait à supporter aucuns autres frais, et la direction des horloges électriques s'engagerait à lui assurer l'heure et les minutes exactes de l'horloge de l'hôtel de ville. Une pendule électrique avec un cadran de 33 centimètres ne coûterait que 60 ou 80 francs.

Dans le système présenté par M. Paul Garnier pour la ville de Paris, on aurait placé à l'Observatoire l'horloge-type destiné à faire rayonner les heures dans toutes les directions. Un fil de fer recouvert de zinc, partant de l'un

des pôles de la pile, se serait rattaché successivement aux divers édifices communaux pourvus de cadrans sur lesquels l'heure devrait être signalée. Après avoir relié ensemble tous ces cadrans, ce conducteur serait venu se rattacher à l'autre pôle de la pile.

Quant aux points qui auraient pu être choisis pour y placer les cadrans électriques, M. Garnier proposait de tendre un premier fil de l'Observatoire à l'hôtel de ville, en touchant au Val-de-Grâce, à l'église Saint-Jacques-du-Haut-Pas, à la mairie du douzième arrondissement, au Lycée Louis-le-Grand, à la Sorbonne, à la Tour de l'horloge du Palais de Justice pour revenir enfin à l'hôtel de ville. Ce premier fil établi on en aurait établi d'autres dans les autres directions après qu'on aurait été convaincu de l'importance de cette application électrique.

La commission des architectes avait opposé à ce projet un contre-projet dans lequel l'horloge-type aurait été établie au haut de la Tour Saint-Jacques-la-Boucherie, pour de là fournir l'heure dans toutes les directions. Enfin, M. Breguet vient de proposer dernièrement un nouveau projet qui paraît être le plus pratique. En effet, avec les systèmes dont nous venons de parler et qui sont d'ailleurs très-réalisables, il pourrait arriver qu'en cas de rupture d'un des fils ou d'un accident quelconque, l'heure cessât subitement dans toute une partie de la ville. Rien de semblable n'est à craindre dans le système de M. Breguet. Il l'expose en ces termes :

« Je divise Paris en douze rayons électriques ; je place dans la mairie de chacun des arrondissements un régulateur-type qui distribue l'heure aux quatre quartiers composant un arrondissement. Réglé chaque semaine, mon régulateur ne me donne qu'un retard de quelques dixièmes de seconde et comme le régulateur-type envoie son mouvement électriquement aux pendules de l'arrondissement, j'ai donc

l'heure également uniforme dans chacun des quatre quartiers, par suite dans les douze arrondissements ou dans les quarante-huit quartiers de la ville de Paris. Si, ce qui peut arriver, ce qui arrivera, des dérangements se produisent, ils seront facilement et promptement réparés. Il n'y aura jamais qu'un quartier qui pourra manquer, ou encore quelques horloges d'un quartier. »

En ce moment on organise une installation chronométrique de ce genre à Marseille. Mais au lieu de s'adresser aux constructeurs habiles que nous avons à Paris, cette ville a mieux aimé avoir recours à un horloger étranger dont le système n'a rien de supérieur aux autres; et cet horloger a eu l'avantage d'habiter une ville amie du progrès (la ville de Gand), où il a pu mettre à exécution son système, et il n'en a pas fallu davantage pour qu'on ait eu plus de confiance en lui qu'aux autres. Combien de systèmes actuellement adoptés aujourd'hui n'ont été préférés à d'autres beaucoup meilleurs, que parce qu'ils ont été une première fois essayés ! Et les hommes qui commettent de pareils erreurs s'en vantent en se disant des hommes *pratiques*, des hommes *positifs !....* Tel est tout le secret de cet esprit de routine qui s'oppose au développement des inventions même les meilleures.

IV

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ AUX OBSERVATIONS SCIENTIFIQUES ET DE PRÉCISION.

La faculté que possède l'électricité de fournir des signaux écrits à distance sous une influence mécanique quelconque, qui peut même être extrêmement faible, la promptitude d'action de ce fluide et la manière facile dont on peut provoquer cette action, ont pu être utilisées avantageusement

pour les observations scientifiques, soit pour remplacer l'observateur lui-même et lui éviter l'ennui d'une attention trop soutenue, soit pour permettre l'appréciation d'intervalles de temps infiniment courts, soit pour suppléer à la vue dans certaines expériences délicates exigeant une grande précision. Ce sont ces applications qui vont faire l'objet de ce chapitre.

CHRONOSCOPES ET CHRONOGRAPHES.

Dans une foule de circonstances particulières, on est appelé à mesuser un intervalle de temps excessivement court, comme un millième de seconde par exemple. Ainsi, quand on veut constater la promptitude d'inflammation des différentes espèces de poudres, la vitesse des projectiles et de corps qui ne peuvent, comme la lumière, produire par eux-mêmes un effet physique instantané à distance, on est forcé d'employer des mécanismes susceptibles de fournir une mesure de temps quelquefois même plus petite que la fraction de seconde que nous avons indiquée. On comprend alors que la plus grande difficulté à surmonter n'est pas l'appréciation mécanique de ce temps infiniment court, mais le *point de départ et le point d'arrêt* de l'observation, car nos organes sont bien loin d'être assez sensibles pour une pareille appréciation. L'électricité est venue encore merveilleusement à l'aide de la mécanique, pour servir d'organe sensible, et doter les corps matériels des propriétés au moyen desquelles la vitesse de la lumière a pu être constatée directement. Ce sont ces instruments auxquels on a donné le nom de chronoscopes et chronographes électriques. M. Martin de Brettes, ayant étudié d'une manière tout à fait complète ces sortes d'appareils dans un ouvrage fort remarquable édité chez M. Correard, je renverrai, pour les détails, le lecteur à cet ouvrage.

Chronoscope de M. Wheatstone. — M. Wheatstone, dont

nous avons si souvent parlé, paraît être encore le premier qui ait eu l'idée de ce genre d'application de l'électricité. Il aurait, dit-il, dans une réclamation adressée à l'Académie des sciences, inventé et construit, dès 1840, un appareil électro-magnétique destiné à mesurer la vitesse initiale des projectiles. Cet appareil, composé d'un mouvement d'horlogerie, portait une aiguille qui marquait, sur un cadran divisé, l'instant où une roue d'échappement, mise en mouvement par un poids, était arrêtée par une ancre. Cette ancre, selon qu'elle était ou non sollicitée par un électro-aimant, arrêtait ou rendait libre la roue d'échappement; la durée du courant était mesurée par l'arc décrit.

M. Wheatstone dit que son appareil pouvait donner un 7 300 ième de seconde. Néanmoins il est permis de douter de sa précision pour mesurer un temps si court, attendu que le mouvement de l'aiguille est nécessairement saccadé, et que l'arrêt peut se faire un peu avant ou après le passage d'une dent de l'échappement, sans suivre aucune loi, ce qui empêche de prévoir le sens et la grandeur de l'erreur. Quoi qu'il en soit, ce système, qui a été le point de départ de beaucoup d'autres plus ou moins compliqués, dont nous allons parler, constituait, dès cette époque, une invention de la plus haute importance, et dont nous avons déjà vu une application dans les systèmes électriques que nous avons décrits, chapitre II, pour enregistrer les différentes vitesses des convois sur les chemins de fer. Voici comment M. Wheatstone avait disposé son système chronographique appliqué à la mesure de la vitesse des projectiles.

Le chronoscope placé à une station A, fig. 15, Pl. VII, dans le voisinage du lieu du tir, était relié d'un côté à la pile P, de l'autre au canon C et à une cible M placée successivement à des distances différentes. Un fil *f* placé devant la bouche du canon, faisait partie d'un premier circuit complété par le chronoscope, et un conjoncteur adapté à la

cible M était disposé de manière à opérer la fermeture d'un second circuit passant également à travers le chronoscope lorsque la cible venait à être frappée par le boulet.

Le chronoscope se composait d'un mécanisme d'horlogerie établi dans une boîte C, et était mis en mouvement par un poids P. Derrière la boîte C était placé un électro-aimant dont l'armature une fois attirée devait embrayer le mouvement d'horlogerie. Au moment de la rupture du courant à travers cet électro-aimant, ce mouvement était au contraire dégagé et alors deux aiguiles mobiles autour de deux cadrans étaient mises en marche; l'aiguille du cadran E indiquait des dixièmes de seconde et celle du cadran D des millièmes. Un embrayeur secondaire empêchait la marche des aiguilles en temps ordinaire.

La disposition du fil *f* au travers de la bouche du canon était très-simple; il était tendu à travers un cadre de bois H fixé à l'extrémité du canon, de manière à relier deux de ses côtés. Le circuit par cette disposition se trouvait convenablement isolé.

Au moment de l'expérience on fermait à la pile le courant électrique à travers le premier circuit, c'est-à-dire celui correspondant au fil de la bouche à feu, et on lâchait la détente du chronoscope. Celui-ci ne se trouvait pas pour cela mis en mouvement puisque cette détente était remplacée par celle de l'électro-aimant alors actif. Mais aussitôt que le feu était mis à la pièce, le fil *f* était coupé par le boulet et le circuit correspondant étant interrompu, le mouvement du chronoscope se trouvait dégagé. Les aiguilles étaient mises en marche et leur mouvement persistait jusqu'à ce que le boulet, en rencontrant la cible M, eût fait réagir le conjoncteur sur le deuxième circuit qui se trouvait dès lors complété. Sous l'influence de cette nouvelle fermeture du courant, le chronoscope se trouvait de nouveau arrêté, et l'arc décrit par les aiguilles indiquait le

temps qu'avait mis le projectile à parcourir l'espace compris entre le canon et la cible.

Tout ingénieux qu'il était, et sans parler de l'inconvénient que nous avons signalé en commençant, ce système avait plusieurs défauts qui frappèrent M. Wheatstone dès les premiers essais qu'il tenta, et qui l'amenèrent à le modifier à deux reprises différentes.

D'abord le magnétisme remanant de l'électro-aimant du chronoscope empêchait le déclanchement instantané du mouvement d'horlogerie ; en second lieu, le contact fourni par une cible si brusquement frappée ne pouvait jamais être assez bon pour maintenir les aiguilles du chronoscope dans la position où les avait arrêtées la fermeture secondaire du courant. Voici comment M. Wheatstone avait remédié à ces deux inconvénients. C'est lui-même qui parle (Voir les comptes rendus de l'Académie des Sciences, séance de mai 1845).

« J'avais trouvé par expérience que lorsqu'une pièce de fer doux avait été attirée par un électro-aimant, et que le courant venait ensuite à cesser, bien que le fer parût retomber immédiatement, son contact était maintenu pendant un temps qui plusieurs fois équivalait à une fraction considérable de seconde. La durée de cette adhérence augmentait avec l'énergie des courants voltaïques et avec la faiblesse du ressort antagoniste. Pour la réduire à un minimum, il était nécessaire d'employer un courant très-faible, et d'augmenter la résistance du circuit jusqu'à ce que la force d'attraction de l'aimant fût réduite au point de ne surpasser que d'une très-faible quantité la force de réaction du ressort. Mais alors l'aimant n'avait plus la force suffisante pour attirer le fer lorsque le projectile frappait le but. Cependant je surmontai cette difficulté de la manière suivante : j'arrangeai les fils métalliques du circuit de manière qu'avant que le boulet ne fût lancé par le canon, le courant d'un seul élément

de très-petite dimension et réduit au degré convenable au moyen d'un rhéostat aussi interposé dans le circuit, fût le seul à agir sur l'électro-aimant; mais lorsque le boulet arrivait au but six éléments se trouvaient alors interposés dans le circuit et agissaient directement sur l'aimant. Sans doute avec ces précautions il y a bien encore du temps de perdu durant l'attraction de l'armature de l'aimant aussi bien que par suite de son adhérence après que le courant a cessé, et la différence de ces deux erreurs rendrait des approximations telles que $\frac{1}{500}$ ou $\frac{1}{1000}$ de seconde tout à fait incertaines; mais ce genre d'erreurs pourrait être facilement réduit à moins de $\frac{1}{60}$ ou de $\frac{1}{100}$ de seconde.

« Dans mon opinion, continue M. Wheatstone, un chronoscope qui divise la seconde en soixante parties, et qu'on peut prouver ne donner jamais lieu à une erreur dépassant une seule de ces divisions, est préférable à un instrument offrant des divisions plus avancées et qui donnerait lieu à des erreurs embrassant bon nombre de ces divisions. Guidé par ces expériences je fus en mesure de construire un chronoscope très-simple et très-efficace. Un échappement très-simple était mis en mouvement par un poids suspendu à l'extrémité d'un fil enroulé dans une hélice creusée sur un cylindre fixé lui-même sur l'axe d'une roue d'échappement. Sur cet axe était aussi adaptée une aiguille qui avançait d'une division à chaque échappement. Quand il était nécessaire de prolonger le temps de l'expérience, la roue à échappement et le cylindre étaient établis sur des axes différents et leur engrenage s'opérait au moyen d'une roue et d'un pignon. Dans ce cas deux aiguilles étaient employées. Au moyen de cette construction on évite l'accélération du mouvement qui aurait lieu s'il n'y avait pas eu d'échappement, et l'index franchit chaque division dans un même temps. Le poids était disposé de manière à pouvoir se régler et la valeur d'une seule division était obtenue en divisant le

temps de la chute entière par le nombre des divisions franchies dans cet intervalle, mais des méthodes encore plus exactes peuvent être employées.

« Au moyen de cet instrument j'ai mesuré le temps mis par une balle de pistolet à parcourir différentes portées avec des charges différentes de poudre; la répétition de ces expériences donna lieu à des résultats passablement constants présentant rarement une différence plus grande qu'une division du chronoscope. Je mesurai aussi la chute d'une balle tombant de différentes hauteurs et la loi des vitesses accélérées fut obtenue avec une rigueur mathématique. Avec l'appareil dont je me suis servi pour cette dernière expérience, je pouvais mesurer la chute d'une balle tombant de la hauteur d'un pouce. Je me propose encore d'employer cet instrument pour mesurer la vitesse du son à travers l'air, l'eau et des massifs de rochers, et j'espère que les mesures que j'obtiendrai auront une approximation qu'on n'a jamais obtenue jusqu'à présent. »

Pour éviter les inconvénients de la fermeture du courant au moment du choc de la cible, M. Wheatstone a eu recours au moyen suivant, qui, comme je l'ai déjà dit, renferme en lui le principe des télégraphes à double transmission des dépêches :

« .....Au lieu de rompre la continuité du circuit et de la reconstituer ensuite, dit M. Wheatstone, l'électro-aimant du chronoscope *peut être maintenu en équilibre au moyen de deux courants égaux et opposés; en interrompant le premier circuit l'équilibre est détruit; et en interrompant le second, le courant occasionné par la destruction de l'équilibre cesse.* Le second circuit est rompu par le projectile en traversant un cadre sur lequel est tendu un fil métallique très-fin disposé en lignes parallèles et très-serrées formant partie du circuit. Cette disposition fournit les moyens d'employer un chronoscope tout à fait différent du premier, dont voici la disposition :

« Deux pendules, dont l'un à demi-secondes et l'autre animé d'un mouvement plus accéléré, sont maintenus chacun aux extrémités de leurs arcs d'oscillation par un électro-aimant. Quand le projectile s'échappe de la bouche à feu, l'un des pendules est libéré, et quand il rompt le fil métallique du cadre, l'autre pendule se trouve dégagé à son tour. On compte alors le nombre d'oscillations d'un des pendules jusqu'à ce que le mouvement des deux pendules coïncide, et d'après ce fait on détermine aisément le temps qui sépare les commencements des premières oscillations des deux pendules.

Chronographe de MM. Breguet et Konstantinoff. — En 1843-44, M. Breguet construisit pour le capitaine russe Konstantinoff, qui le lui avait commandé, un chronographe mesurant les temps correspondant aux divisions successives de la trajectoire des projectiles. Ce chronographe fut, en 1845, l'objet d'une discussion assez animée entre MM. Wheatstone et Breguet, de laquelle il est résulté que la première idée des chronoscopes et chronographes électriques appartenait bien à M. Wheatstone, mais que c'était au capitaine Konstantinoff que revenait l'idée d'enregistrer la vitesse des projectiles aux différents points de leur trajectoire, et à M. Breguet que devait être attribuée la disposition de l'instrument pour résoudre le problème posé par M. Konstantinoff.

Le chronographe de MM. Breguet et Konstantinoff[1] se composait d'un cylindre de cuivre ABCD (fig. 8, pl. VIII), tournant autour de son axe, et dont la surface était divisée en millimètres par des génératrices. Sur ce cylindre venaient appuyer deux styles E, F, portés par un chariot mobile sur un chemin de fer parallèle à l'axe. Ce chariot portait trois électro-aimants dont deux maintenaient les styles éloignés

1. Voir l'ouvrage de l'abbé Moigno, dans lequel se trouvent les plans de cet appareil et les *Comptes-Rendus de l'Académie des sciences*, du 20 janvier 1845.

du cylindre jusqu'à l'interruption du courant; le troisième maintenait le chariot jusqu'à l'instant du départ. Le chariot était mis en mouvement par un échappement G à ancre oscillant entre deux électro-aimants, lequel laissait à chaque oscillation échapper la dent d'une roue autour de l'arbre de laquelle s'enroulait le fil qui tirait le chariot.

Enfin, le mouvement d'horlogerie qui communiquait au cylindre une vitesse uniforme de deux tours par seconde, réagissait sur un commutateur en rapport avec les électro-aimants de l'échappement à ancre du chariot, et faisait avancer celui-ci d'une dent par chaque demi-tour du cylindre.

Avec cette disposition, chaque millimètre du cylindre représentait, par rapport aux styles fixes, une fraction de seconde dépendant du nombre de millimètres contenus dans la circonférence du cylindre, et de la vitesse de celui-ci.

En admettant donc que chacun des styles fût en connexion avec un circuit spécial, et que ces circuits fussent en correspondance avec une cible particulière, formant comme un treillis composé d'un seul fil métallique replié sur lui-même, on conçoit que le projectile, en perçant ces cibles et en interrompant par conséquent les deux circuits, pouvait réagir sur les styles en les forçant d'abandonner les électro-aimants qui les maintenaient à distance du cylindre. Ces styles venaient donc tracer, l'un après l'autre, une ligne sur le cylindre en mouvement, et la différence de position de ces lignes, à l'égard des génératrices servant de point de départ, pouvait fournir la fraction de seconde écoulée entre le percement des deux cibles.

Par un relais additionnel extrêmement simple, M. Breguet était parvenu à n'employer qu'un seul courant pour les différentes cibles. Pour cela, il le faisait passer successivement de l'un à l'autre circuit, au fur et à mesure que chacun de ces circuits se trouvait interrompu. Cette disposition lui fournissait, en outre, le moyen de n'employer

que deux styles pour un nombre quelconque de cibles, et c'est à cet effet que le chariot mobile avait dû être installé.

Un interrupteur, ajouté à l'appareil, a permis de constater le degré d'uniformité du mouvement de l'instrument, et de calculer le temps employé par les styles à s'abaisser, temps qu'un grand nombre d'expériences réitérées a fait estimer à douze millièmes de seconde.

Ce système fut vivement critiqué par M. Wheatstone. Outre qu'il trouvait préférable de déterminer la vitesse des projectiles aux différents points de leur trajectoire au moyen de décharges successives, ce savant prétendait que M. Breguet avait inutilement compliqué son appareil et que, dans le système qu'il avait imaginé, lui, M. Wheatstone, lors du voyage de M. Konstantinoff à Londres, il n'employait qu'un électro-aimant au lieu de cinq. Voici quel était ce système :

« Un cylindre, dit M. Wheatstone, exécute un mouvement de rotation autour d'une vis, de façon à avancer d'un quart de pouce par révolution. A une des extrémités du cylindre est adaptée une roue dentée d'un diamètre un peu plus grand que celui du cylindre et qui s'engrène avec un pignon dont la longueur est égale à la portion totale d'axe que doit franchir le cylindre dans ses révolutions successives. Ce pignon communique avec des rouages mis en mouvement par un poids suspendu à l'extrémité d'un fil qui tourne autour d'un cylindre, et le rouage est muni d'un régulateur qui égalise le mouvement. Un crayon, adapté à l'extrémité d'un petit électro-aimant, est amené en contact avec le cylindre et y trace une hélice qui est interrompue chaque fois que le courant cesse. On comprend aisément, d'après cette disposition, de quelle manière le commencement et la fin du mouvement d'un projectile sont indiqués par cet instrument. Les périodes intermédiaires sont enregistrées de la manière suivante : Aux points voulus sur la ligne de passage du projectile, on établit des cadres formés

par des réseaux en fil métallique; le projectile rompt les fils métalliques en traversant les cadres; on emploie autant de batteries voltaïques qu'il a de paires de cadres, et les fils de ces cadres communiquent avec les pôles de ces batteries et l'électro-aimant, de telle façon que le courant électrique traverse l'hélice métallique de cet électro-aimant, ou cesse de la parcourir, suivant que l'équilibre est alternativement détruit ou rétabli par la rupture successive des fils métalliques des cadres. Pour obtenir ce résultat, il est nécessaire que la résistance des différents fils métalliques soit convenablement proportionnée. »

Cette critique a été, à son tour, controversée par M. Breguet; mais je n'entrerai pas davantage dans cette discussion, car elle n'aurait rien d'intéressant pour le lecteur; je dirai seulement que ces différents systèmes avaient leur bon et leur mauvais côté, mais qu'ils nécessitaient évidemment de nouveaux perfectionnements qu'on a cherché à leur apporter depuis. Toutefois ce problème, d'après le général Morin, ne paraît pas être encore, même aujourd'hui, résolu d'une manière complétement satisfaisante.

Chronoscope de M. Pouillet. — En 1844, M. Pouillet construisit un chronoscope fondé sur un principe tout à fait nouveau et très-curieux en lui-même, c'est-à-dire sur les déviations de l'aiguille d'un galvanomètre suivant la durée de l'action exercée sur elle par des courants. Mais la nécessité d'une graduation particulière du galvanomètre et d'une constance rigoureuse dans l'intensité du courant pendant toute la durée des expériences faisait de ce chronoscope plutôt un appareil théorique qu'un instrument pratique. Quoi qu'il en soit, voici en quelques mots le principe de ce système chronoscopique :

« On conçoit, dit M. Pouillet [1], que si une aiguille ai-

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 23 décembre 1844.

mantée est en repos, et qu'un courant électrique vienne à agir vivement sur elle pendant un temps très-court, par exemple un dixième, un centième ou un millième de seconde, il pourra résulter de cette impulsion unique et presque subite un mouvement de déviation lent et régulier d'une amplitude déterminée et parfaitement appréciable. Cette amplitude doit nécessairement dépendre, non-seulement de l'établissement de l'aiguille, c'est-à-dire de sa masse pondérable, de sa longueur, de son moment d'inertie, de la quantité et de la distribution de son magnétisme libre, mais encore de l'intensité du courant électrique et du *temps* pendant lequel il a exercé son action. Enfin, les oscillations qui en sont la suite et qui sont produites par la force du magnétisme terrestre dépendent elles-mêmes de cette première impulsion. Il résulte de ces différentes relations que la durée d'action du courant électrique peut se déduire de son intensité, pourvu que les conditions relatives à l'aiguille soient complétement connues.

« S'il arrive, par conséquent, qu'un courant électrique puisse agir d'une manière régulière et identique à elle-même pendant un instant très-court, tel, par exemple, qu'un millième ou un dix-millième de seconde; et s'il arrive en même temps qu'il puisse, par cette action si prompte, produire, sur un système magnétique convenable, une première impulsion, une déviation promotrice assez lente et d'une amplitude assez étendue, rien ne sera plus facile que de déterminer avec exactitude des intervalles de temps qui se comptent par millièmes ou par dix-millièmes de seconde. Pour obtenir de telles mesures au moyen des aiguilles aimantées, tout se réduit donc à ces deux questions essentielles : Quelle est la limite nécessaire à un courant pour traverser un circuit donné? Quelle est la limite d'amplitude des déviations qu'il peut produire sur le système magnétique le plus impressionnable? »

La première question a été traitée assez longuement au commencement de cet ouvrage (page 37, 1er vol.) pour que nous n'y revenions pas ici. Nous dirons seulement que cette durée de transmission avait été estimée par M. Pouillet à $\frac{1}{7000}$ de seconde.

« La seconde question, continue M. Pouillet, n'est pas résolue par la première. De ce que le courant passe intégralement dans $\frac{1}{7000}$ de seconde, et de ce qu'il maintient en équilibre l'aiguille de la boussole d'intensité, par son retour périodique, à des intervalles aussi rapprochés, il n'en résulte aucunement qu'une seule de ces actions doive imprimer à l'aiguille une déviation sensible et observable. Il fallait donc isoler l'un de ces chocs pour en connaître l'effet; j'y suis parvenu de la manière suivante :

« Sur un plateau de verre de 84 centimètres de diamètre est collée une bande d'étain d'un millimètre de largeur, s'étendant comme un rayon de la circonférence vers le centre; là, elle communique à une bande circulaire plus large qui entoure l'axe de rotation. Supposons que le plateau tourne à raison d'un tour par seconde, et que les deux extrémités d'un circuit électrique s'appuient par des ressorts, l'une sur la bande centrale qu'il touche toujours, l'autre sur le verre du plateau près de la circonférence; au moment où la bande d'un millimètre viendra passer sous ce dernier, il y aura communication électrique, et la durée du courant sera justement égale à la durée du passage de la bande, c'est-à-dire à $\frac{1}{9250}$ de seconde, si l'on touche près de la circonférence, à $\frac{1}{1260}$, si l'on touche au milieu du rayon, etc.

« Si le plateau fait deux tours, trois tours, quatre tours par seconde, on atteindra ainsi des passages d'une durée deux, trois ou quatre fois moindre.

« Or, en faisant l'expérience, j'ai trouvé qu'une pile ordinaire de Daniell, à six éléments, ayant à traverser un circuit

d'environ 40 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre, donne un courant assez intense pour que l'action qu'il exerce pendant $\frac{1}{5000}$ de seconde imprime une déviation de 12 degrés à l'aiguille d'un galvanomètre peu sensible; l'aiguille met environ 10 secondes à parcourir cet arc, de telle sorte que l'action rapide des fluides électriques et magnétiques, qui s'est exercée pendant $\frac{1}{5000}$ de seconde, se trouve par là transformée en un mouvement cinquante mille fois plus lent, lorsqu'il passe dans la matière pondérable de l'aiguille.

« Le galvanomètre de M. Melloni a une sensibilité qui est maintenant connue de tous les physiciens; elle est variable dans les divers appareils; cependant elle peut être prise pour terme de comparaison, lorsqu'il ne s'agit que de donner une idée approximative des effets électriques. L'un de ces instruments donne 15 degrés de déviation, lorsqu'on fait agir sur lui, pendant $\frac{1}{5000}$ de seconde, le courant d'un seul élément de Daniell, dont le circuit se compose d'environ 10 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre. Ainsi, avec cet instrument, l'on peut apprécier sans peine la dix-millième partie d'une seconde.

« On comprend qu'il y a ici à déterminer les lois suivant lesquelles l'amplitude de la déviation varie dans le même appareil, avec l'intensité du courant et la durée du contact; ces lois peuvent se déduire de diverses considérations théoriques; cependant il sera nécessaire de les vérifier par des expériences précises. En attendant, je me suis borné à graduer empiriquement l'appareil qui m'a servi, c'est-à-dire à dresser une table des déviations qu'il éprouve sous l'influence d'un courant connu agissant pendant un temps déterminé. Cette graduation une fois faite, le galvanomètre devient, en quelque sorte, un pendule balistique qui donne le temps pendant lequel le même courant exerce son action.

« Parmi les applications que j'en ai pu faire jusqu'à présent, je citerai seulement celle qui est relative à la vitesse d'inflammation de la poudre.

« L'expérience se dispose de la manière suivante : les deux extrémités d'un circuit dans lequel se trouvent le galvanomètre et un élément de Daniell, viennent s'adapter, l'une à la capsule mise en place sur la cheminée, et l'autre au chien du fusil, toute la batterie étant bien isolée du canon; une portion du fil passe devant le bout du canon, à quelque distance de manière à être coupée par la balle à l'instant où elle sort. Voilà tout l'appareil. Lorsqu'on tire, le courant passe donc pendant tout le temps qui s'écoule, depuis l'instant où le chien frappe la capsule, jusqu'à l'instant où la balle coupe le fil. Les déviations produites dans diverses expériences faites avec la même charge de poudre sont parfaitement concordantes; les observations se font avec la plus grande facilité, et avec la charge dont j'ai fait usage, les valeurs extrêmes sont $\frac{1}{140}$ et $\frac{1}{150}$ de seconde, pour le temps qui s'écoule entre l'instant où la capsule est frappée et l'instant ou la balle sort du canon.

« En variant les charges, en prenant des poudres de diverses qualités et des armes différentes à canons ordinaires ou à canons rayés, on pourra aisément déterminer, dans tous les cas, le temps dont il s'agit.

« Pour appliquer le même principe à la recherche des vitesses d'un projectile en divers points de sa trajectoire, il suffit de disposer sur la route un système de fils de soie, et plus loin un système de fils conducteurs; de telle sorte qu'en rompant le fil de soie, le projectile établisse la communication électrique, et qu'en rompant le fil conducteur, il la supprime; la déviation observée donnera le temps du passage, seulement il faudra tenir compte du temps nécessaire au détendement du ressort qui doit établir la communication à l'instant où le fil de soie est coupé; le temps se

détermine lui-même très-facilement, comme on peut déterminer aussi le temps du choc des corps élastiques; ce temps est très-court. Dans les essais que j'ai faits, il a varié de de $\frac{1}{1500}$ et $\frac{1}{2000}$ de seconde.

Chronoscope de M. Siemens. — M. Siemens dans un aperçu historique des nouveaux procédés servant à mesurer des espaces de temps fort courts, tels que ceux qui séparent les positions d'un projectile dans les différents points de sa trajectoire, réclame, au nom d'une Commission royale d'officiers d'artillerie prussiens, la priorité de la conception et de l'exécution de l'idée d'employer, dans ce but, les effets électro-magnétiques d'un courant voltaïque. Quoi qu'il en soit de ces prétentions qui n'ont pu être justifiées, voici comment M. Siemens a proposé de résoudre la question.

Quand une surface polie est soumise à l'étincelle électrique, on trouve que chaque étincelle y laisse une trace extrêmement déliée, mais très-distincte, en forme d'une petite tache dont la couleur et la nature varient suivant la nature des métaux que l'on emploie. Une plaque d'acier, par exemple, est ce qu'il y a de mieux pour constater le phénomène. Maintenant, qu'on imagine un cylindre d'acier poli, à pourtour divisé, tournant sur son axe avec une vitesse appropriée, et une pointe métallique établie à une distance fort petite vis-à-vis de ce cylindre, dont la marche sera d'ailleurs réglée à l'aide d'un pendule conique [1]. La pointe et le cylindre feront partie des circuits de deux batteries de Leyde qui se trouveront interrompus aux deux points de la course du projectile entre lesquels il s'agit de mesurer sa vitesse. Le projectile, en traversant la première station complète le circuit de la première batterie; une étincelle jaillit entre la pointe et le cylindre d'acier et y

1. Nous verrons plus tard la disposition de ce transformateur de mouvement.

laisse sa marque. Le cylindre continue de tourner, et le boulet, en complétant le second circuit, donne lieu à une seconde marque dont la distance à la première, évaluée en degrés de la circonférence du cylindre, sert, comme dans les autres appareils de ce genre, à déterminer le temps qui s'est écoulé entre les deux étincelles.

Voici, au reste, le dispositif à l'aide duquel le boulet complète le circuit. Un certain nombre de fils métalliques, régulièrement espacés entre eux et isolés l'un de l'autre, sont tendus sur un cadre, et ces fils communiquent alternativement avec les deux extrémités du circuit de la batterie, de sorte que le premier, le troisième, le cinquième, etc., sont en rapport avec l'une de ces extrémités, tandis que l'autre va rejoindre tous les fils de nombre pair. Le boulet, en traversant le cadre, est censé fermer le circuit en établissant une communication métallique entre deux de ces fils.

Si l'on considère que la durée de l'étincelle électrique peut être considérée comme instantanée, et que cette étincelle elle-même n'est pas soumise aux mêmes retards que les index dépendant de l'action magnétisante, on pourrait regarder ce système chronographique comme le plus parfait de tous ceux que nous avons jusqu'à présent décrits, mais les réactions des courants d'air sur l'étincelle électrique, la difficulté de faire réagir l'électricité statique sur des circuits un peu longs, le rendent tout à fait inapplicable dans la pratique.

En 1853 [1], j'avais eu l'idée de faire bénéficier les appareils chronographiques des avantages que présentait le système précédent, sans qu'on eût à redouter les inconvénients dont je viens de parler, et pour cela j'avais eu recours au système électro-chimique de Bain que je substituais au

1. Voir le 1er vol. page 154, de mon *Traité des applications de l'électricité* (1re édit.).

système électro-magnétique dans l'appareil de M. Breguet, mais l'incertitude du point exact où commence et où finit l'action chimique dans les traces laissées sur le papier préparé, empêchaient encore ce système chronographique d'avoir toute la précision désirable. Dernièrement, M. Martin de Buttes a repris l'idée de M. Siemens, en substituant aux batteries électriques les courants d'induction de l'appareil de Ruhmkorff, mais je doute qu'avec ce moyen on puisse éliminer complétement les causes d'erreurs que nous venons de signaler. Nous étudierons plus tard ce système.

Chronoscope du capitaine Navez. — Le chronoscope du capitaine Navez, imaginé en 1848, est celui de tous les chronoscopes et chronographes qui a fourni les résultats les plus satisfaisants et qui a été le plus expérimenté. C'est une combinaison du pendule balistique employé jusqu'à présent par l'artillerie avec le chronoscope électrique. Il est d'une simplicité extrême, et d'une expérimentation facile.

Voici comment M. Navez résume les défauts des systèmes chronographiques dont nous avons parlé, défauts dont l'examen mûri, l'a conduit à imaginer son appareil.

1° Tous les appareils dans la composition desquels entrent des électro-aimants, ont leurs indications dépendantes des variations dans les courants électriques.

2° Tous les appareils à mouvement d'horlogerie ont l'exactitude de leurs indications très-limitée par suite de l'emploi de roues dentées.

3° Les appareils à pendule ne permettent pas de mesurer des temps assez petits pour que l'on puisse en faire usage dans les expériences de balistique, et cela parce que le pendule au commencement de son oscillation, n'est pas animé d'une vitesse assez grande.

4° Les appareils à cylindre tournant sont d'une construction difficile et coûteuse, et d'un emploi embarrassant.

5° La méthode fondée sur la déviation de l'aiguille d'un galvanomètre ne répond pas aux besoins des polygones de l'artillerie.

6° Les appareils qui exigent l'emploi de l'électricité de tension sont d'un usage difficile et même souvent impossible par suite de circonstances atmosphériques contraires.

La méthode du capitaine Navez comporte l'emploi d'un pendule, d'un conjoncteur et d'un disjoncteur. Deux piles à courant constant, des fils de cuivre destinés à conduire les courants, et deux cadres sur lesquels on tend des fils conducteurs, complètent le dispositif nécessaire pour opérer.

Un pendule EP (fig. 2, pl. VIII) est disposé de manière à ce que sa lentille P, dans l'épaisseur de laquelle est encastrée une petite pièce de fer doux *n*, puisse être soutenue par un électro-aimant Q dans une position initiale déterminée. L'axe horizontal, au moyen duquel le pendule est suspendu, porte un manchon muni d'une rondelle de fer doux R, sur laquelle est fixée une aiguille indicatrice I.

Lorsque le pendule oscille, le manchon, la rondelle et l'aiguille sont entraînés dans son mouvement; un petit ressort bifurqué rend le mouvement du manchon solidaire de celui du pendule. Derrière la plaque sur laquelle est monté le pendule, se trouve un fort électro-aimant dont les deux pôles sont en regard, et très-rapprochés de la rondelle de fer doux Lorsque cet électro-aimant devient actif, il attire la rondelle de fer doux, et fixe ainsi l'aiguille indicatrice sans cependant s'opposer à ce que le pendule continue son oscillation.

Le conjoncteur (fig. 3) est constitué par un électro-aimant E, qui peut être mû le long d'une colonne au moyen d'une vis de rappel V. — Sous cet électro-aimant, se trouve disposée une lame en acier L, dont une des extrémités est fixe,

tandis que l'autre reste libre. Quand l'électro-aimant E est actif, il peut soutenir un *poids* cylindrique P; s'il cesse d'être actif, ce poids tombe sur l'extrémité libre de la lame d'acier, fait fléchir cette dernière, et complète ainsi un circuit électrique qui rend actif le grand électro-aimant du pendule, et fixe la rondelle de fer doux de cet instrument.

Le disjoncteur (fig. 4) est composé de quatre lamettes de cuivre L,L,L′ L′, glissant deux à deux, l'une sur l'autre, à frottement doux. Deux des lamettes sont fixes; les deux autres sont mobiles, et il suffit d'agir sur le bouton D d'une détente, pour que par l'action d'un ressort, il y ait disjonction entre les lamettes fixes et les lamettes mobiles. Par cette disposition, cet instrument peut donner passage à deux courants distincts dans les circuits, et permet d'opérer des disjonctions simultanées.

Passons à l'emploi de l'appareil. Il s'agit de mesurer le temps que met un projectile à franchir un espace X (fig. 5) compris entre deux fils métalliques qu'il coupe successivement.

Le premier fil que doit couper le projectile fait partie d'un circuit électrique donnant passage au courant qui active l'électro aimant ayant pour fonction de maintenir le pendule dans sa position initiale.

Ce même courant passe aussi par deux des lamettes du disjoncteur; de sorte que l'on peut mettre le pendule en mouvement, soit en faisant jouer le disjoncteur, soit en brisant, au moyen du projectile, le fil conducteur tendu sur le cadre le plus rapproché de la bouche à feu. Dans l'un ou l'autre cas, l'électro-aimant qui maintenait le pendule cesse d'être actif.

Le second fil que doit couper le projectile, fait partie d'un circuit électrique donnant passage à un courant qui active l'électro-aimant du conjoncteur, et passe aussi par deux des lamettes du disjoncteur. Quand le circuit de ce

courant est complet, l'électro-aimant du conjoncteur est actif et l'on peut y suspendre le poids cylindrique. La chute de ce poids sera déterminée, soit lorsque le projectile coupera le fil tendu sur le cadre le plus éloigné de la bouche à feu, soit lorsque l'on fera jouer le disjoncteur.

Les lamettes du disjoncteur sont disposées de manière à ce que les circuits des deux courants dont il vient d'être question soient rompus *simultanément*, lorsque l'on fait jouer cet instrument.

La figure 5 indique la direction des circuits électriques; ils sont au nombre de trois. Une des piles active successivement l'électro-aimant qui maintient le pendule, et celui qui agit sur la rondelle de fer doux; ces deux électro-aimants ne doivent jamais être actifs en même temps.

Supposons maintenant que tout soit disposé pour opérer; les lamettes mobiles du disjoncteur, sont en contact avec les lamettes fixes; le pendule ramené à sa position initiale y reste retenu par l'électro-aimant; le poids est suspendu à l'aimant temporaire du conjoncteur; l'aiguille du pendule est ramenée en regard de la division O du limbe tracé sur la plaque de laiton; la bouche à feu est chargée.

L'opérateur agit sur la détente du disjoncteur, et rompt ainsi *simultanément* les deux circuits que le projectile aurait rompus *successivement*, si on avait tiré le coup de canon; le pendule et le poids du conjoncteur se mettent en mouvement; le poids atteint bientôt la lame d'acier du conjoncteur, la fait fléchir, et complétant ainsi le circuit du courant qui doit activer le grand électro-aimant, placé près de la rondelle de fer doux du pendule, détermine l'arrêt de cette rondelle, ainsi que de l'aiguille qui y est fixée. Le pendule n'est pas arrêté *brusquement* comme la rondelle; il peut continuer son oscillation. L'opérateur prend immédiatement note de la course angulaire de l'ai-

guille; remet les lamettes mobiles du disjoncteur en contact avec les lamettes fixes, suspend le poids cylindrique à l'électro-aimant du conjoncteur, et ramène le pendule dans sa position initiale, l'aiguille correspond au O du limbe. Alors il commande le feu.

Le projectile, en coupant *successivement* les deux fils qui conduisent les courants dans lesquels l'opération faite au moyen du disjoncteur avait produit des disjonctions *simultanées*, détermine le jeu des différentes parties de l'appareil. Si le projectile avait coupé les deux fils en même temps, l'aiguille se serait arrêtée à la même division du limbe, que lors de l'opération faite au moyen du disjoncteur; mais il n'en est pas ainsi, l'aiguille a parcouru un espace angulaire plus grand. Si nous désignons par L la course angulaire de l'aiguille, résultant de l'opération faite au moyen du disjoncteur, et par L′ celle déterminée par le tir, nous trouverons toujours $L' > L$, et la différence $L' - L$, des deux courses angulaires, correspondra exactement au temps employé par le projectile pour franchir l'espace X compris entre les deux fils qu'il a coupés successivement. — On passe des arcs aux temps, au moyen d'une table calculée d'avance, et fondée sur la considération du centre d'oscillation de la masse oscillante.

Il est facile de comprendre comment, en opérant d'après la méthode que nous venons d'exposer, les effets de beaucoup de causes d'inexactitude dans les résultats sont neutralisés. Ces causes d'inexactitude ont agi de la même manière sur les résultats des deux opérations successives, et le résultat définitif, qui s'obtient par *différence*, est entièrement soustrait à leur influence. Citons comme exemple, les causes d'inexactitude qui proviendraient de variations dans les courants, et, par suite, dans les effets magnétiques qu'ils produisent.

L'opérateur disposant de la hauteur de chute du poids

du disjoncteur, peut, en augmentant ou en diminuant cette hauteur, augmenter ou diminuer la course angulaire L et placer ainsi à son gré, l'arc (L'—L) dans la partie de la course totale du pendule qu'il juge convenable. Pour employer le plus avantageusement l'appareil, on doit faire varier la distance qui sépare les fils destinés à être coupés par le projectile, de manière à ce que l'arc (L'—L) comprenne une grande partie de l'oscillation.

Voici la liste d'une partie des expériences de balistique à l'exécution desquelles l'appareil du capitaine Navez a été employé.

En Belgique, 1848. Premier essai de l'appareil. — 1849. Comparaison de deux modes de chargement des bouches à feu; comparaison de l'appareil électro-balistique, avec le pendule balistique ordinaire. — 1850. Comparaison de quatre modes de chargement des bouches à feu. — 1851. Recherches de l'influence de l'angle de tir sur la vitesse initiale des projectiles lancés par les canons; influence de la densité du projectile sur sa vitesse initiale. — 1852. Détermination de la vitesse initiale des projectiles tirés à charge réglementaire, pour les différentes bouches à feu longues de l'artillerie belge; influence de l'allongement de la charge sur la vitesse initiale du projectile. — 1853. Influence de l'angle de tir, sur la vitesse initiale des projectiles lancés par les mortiers; recherches des vitesses initiales des bombes et obus tirés au moyen des différents mortiers belges; variation des vitesses en fonction des charges. — 1854. Influence du vent du projectile, sur sa vitesse initiale; influence de la longueur de la bouche à feu, sur la vitesse du projectile; influence de la division de la charge, telle qu'on la pratique pour le tir de l'obusier long de 15 cent., sur la régularité et la grandeur de la vitesse initiale du projectile. — 1855. Continuation de la recherche des données nécessaires pour l'établissement des

tables de tir; comparaison de la force vive initiale du boulet de 24, tiré au moyen du canon de place belge, avec celle du projectile de même calibre nominal, tiré au moyen du canon suédois système Wahrendorff.

En Hollande, 1853. Expériences sur différentes espèces de poudre; expériences sur des projectiles de différentes densités; vitesse de la balle ogivale. — 1854. Vitesses initiales des projectiles tirés au moyen des différentes bouches à feu de la marine; comparaison de la balle cylindro-ogivale avec la balle ordinaire, sous le rapport de la résistance de l'air; emploi simultané de deux appareils électro-balistiques.

Chronoscope de M. Hipp. — Pour éviter les inconvénients du chronoscope de M. Wheatstone, M. Hipp a modifié le chronomètre de cet appareil, en le construisant de manière à ce que la marche n'en soit pas changée, que les aiguilles indicatrices soient en mouvement ou en repos : aussitôt que le circuit est ouvert, une roue à dents de rochet disposée comme dans les clefs de montre Breguet, et en relation avec le système moteur des aiguilles vient engager ses dents dans celles d'une seconde roue mue par l'horloge, de sorte que les aiguilles du compteur sont immédiatement mises en jeu pour ne s'arrêter que quand le circuit est rétabli. M. Wheatstone regarde cet appareil comme très-exact.

Chronoscope à pointage de M. Breguet. — Quand il ne s'agit que d'apprécier des instants très-courts à un dixième ou à un vingtième de seconde près, on peut se servir d'un chronoscope beaucoup plus simple que nous avons représenté fig. 11, pl. VIII. Il consiste principalement dans un compteur ou chronomètre à pointage, disposé de manière que la pression exercée sur un bouton extérieur A se transmette instantanément à l'aiguille qui marque alors un point noir sur le cadran au moyen d'encre grasse dont elle est impré-

gnée. De cette manière, l'instant précis de la pression exercée sur le bouton est pointé sur le cadran [1].

En supposant donc qu'un semblable compteur soit fixé sur un support, et qu'à portée du bouton A soit disposée une queue à piston CD adaptée à une armature de fer doux, on comprendra qu'un électro-aimant M disposé convenablement pourra attirer cette armature au moment où le circuit sera fermé, et par l'intermédiaire de cette dernière il réagira sur le compteur à pointage.

Si donc l'électro-aimant M est en rapport avec deux circuits différents correspondant, l'un au fil placé devant la bouche du canon, l'autre à un relais disjoncteur en rapport avec la cible, il arrivera qu'au moment de l'expérience, le chronoscope sera arrêté et un point noir indiquera la place de cet arrêt, mais aussitôt que le fil aura été coupé, le chronoscope étant abandonné à lui-même, marchera jusqu'à ce que le relais disjoncteur, ayant été mis en action par suite de la rupture de la cible, ait provoqué l'impression d'un nouveau point noir. L'intervalle des deux pointages donnera donc, en faisant toutefois les corrections nécessaires, la fraction de seconde écoulée entre les deux ruptures des circuits.

Sans doute dans des expériences aussi délicates que celles de l'artillerie, ce système ne serait guère admissible, mais il est une foule d'autres expériences moins précises auxquels ce système chronographique peut être appliqué d'une manière avantageuse.

Chronographe de M. Martin de Brettes. — M. Martin de Brettes, capitaine d'artillerie, l'auteur de l'ouvrage sur les chronographes dont nous avons déjà parlé, a imaginé plusieurs systèmes ingénieux de chronographes que nous allons maintenant étudier.

1. M. Breguet construit des chronomètres de cette sorte qui permettent d'apprécier un vingtième de seconde.

L'un de ces chronographes imaginé en 1847, et qui a valu à son auteur de nombreuses félicitations de la part des hommes compétents, offre à peu près la même disposition que celui de MM. Breguet et Konstantinoff dont nous avons déjà parlé précédémment. Seulement la disposition des styles et leur jeu sous l'influence des courants diffère complétement du mécanisme employé dans l'appareil russe. Ainsi le chariot, le chemin de fer, le pendule moteur, enfin les boîtes et leur mécanisme destiné à rétablir les circuits ont été supprimés. A leur place se trouve seulement une série de styles rangés en ligne droite, parallèlement à l'axe du cylindre enregistreur, et susceptibles, étant mis en activité par des électro-aimants spéciaux qui leur correspondent, non-seulement de fournir des traces sur le cylindre, mais encore de réagir les uns sur les autres par l'effet d'un système rhéotomique qui leur correspond. En outre, un chronoscope à pointage supplémentaire, permet d'apprécier le temps écoulé entre les chutes de ces différents styles, et de vérifier quand l'appareil moteur a atteint le degré voulu de régularité dans son mouvement.

Cette disposition beaucoup plus simple que celle adoptée dans l'appareil russe, est aussi plus facile d'exécution d'après l'avis même de M. Breguet.

Ce chronographe est représenté fig. 6, pl. VIII. Le cylindre enregistreur est en C. Sa surface est divisée en 1,000 parties égales par des génératrices équidistantes de $0^m,001$. Il est monté sur un axe en acier tournant sur des galets, et reçoit son mouvement d'un mécanisme d'horlogerie à deux mobiles, qui est régularisé par un volant à ailettes héliçoïdales. Un conjoncteur de courant est établi sur l'axe du premier mobile (celui sur lequel réagit le poids), et un disjoncteur de courant est établi sur l'axe même du cylindre enregistreur. Tel est, sauf quelques détails d'exécution dans

lesquels nous n'entrerons pas, le système moteur du chronographe.

Le système traçant se compose :

1° D'une série de styles *f, f' f''*, etc., rangés comme nous l'avons dit sur une ligne parallèle à l'axe du cylindre, et dont un seul est représenté sur la figure, les autres se trouvant cachés. Ces styles en acier ont une pointe très-fine qui peut être rapprochée de la surface du cylindre à volonté, au moyen d'une vis de rappel. Chaque style est fixé à une palette métallique formant l'extrémité supérieure d'un levier vertical mobile, autour d'un axe horizontal *a*, parallèle à celui du cylindre. Le levier *porte-style* a son centre de gravité placé au-dessus de cet axe *a* et incliné du côté du cylindre, de sorte qu'il tombe sur ce dernier lorsqu'il est abandonné à l'action de la pesanteur.

2° D'une série d'électro-aimants fixes E,E'E'', etc., destinés à réagir sur les styles, par l'intermédiaire d'une palette de fer doux fixée sur chacun de ces derniers.

3° D'une série de petits leviers coudés *l, l', l''*, disposés au-dessous des leviers *porte-style*, de manière que la queue de ces derniers les repousse de droite à gauche, quand les styles tombent sur le cylindre. Il arrive alors que la branche horizontale de ces leviers coudés vient toucher une plaque métallique et peut établir un contact électrique ayant pour effet la fermeture d'un circuit.

Le compteur à pointage supplémentaire placé en H est commandé par un électro-aimant dont l'hélice magnétisante est composée de deux fils. Au-devant de ce compteur se trouvent disposés d'autres petits électro-aimants, *e, e'*, etc., agissant sur de petits leviers bifurqués *j, j', j''* dont les branches peuvent toucher deux plaques métalliques placées au-dessous d'elles. La bobine de chacun de ces petits électro-aimants est aussi à double hélice et parcourue, ainsi

que celle du compteur lui-même par des courants équilibrés.

Les dispositions électriques sont tellement combinées dans cet appareil, qu'au moment de son action, tous les styles *f*, *f'*, etc., se trouvent éloignés de la surface du cylindre C; mais si l'un *f* vient à tomber sur le cylindre, il se trouve relevé aussitôt après la chute du style suivant *f'* par l'effet du contact opéré par le levier *l*. D'un autre côté, un courant issu d'une seconde pile établit une relation entre le conjoncteur et le disjoncteur établis sur le moteur et l'électro-aimant du chronographe à pointage, qui lui-même est en rapport par l'intermédiaire des électro-aimants *e*, *e'*, etc., avec les styles *f*, *f'*, etc. Voici maintenant comment cet appareil fonctionne.

Au moment de l'expérience, l'appareil étant mis en mouvement, le *conjoncteur* réagira sur le chronoscope à pointage H, et lui fera tracer un point noir à chaque révolution de l'axe sur lequel il est fixé. Quand ces marques se succèderont à des intervalles de temps égaux le mouvement du mécanisme sera devenu uniforme, et on pourra faire jouer les styles.

Ces styles à mesure que les différents circuits auxquels ils correspondent se trouveront coupés, tomberont successivement sur le cylindre et imprimeront une trace, mais il n'y aura jamais qu'une trace d'imprimée à la fois, car la chute de l'un ou l'autre de ces styles a pour effet secondaire l'enlèvement de celui qui le précède. Comme le courant qui anime les électro-aimants E, E', E'', etc., passe en même temps par les électro-aimants *e*, *e'*, *e''*, et équilibre le courant issu d'une autre pile qui traverse déjà ces derniers, sa rupture entraîne la mise en action de ceux-ci, et par suite leur réaction sur le chronoscope à pointage, qui marque un point sur le cadran en même temps que le style correspondant tombe sur le cylindre. L'arc compris entre deux points

consécutifs ainsi marqués, donnera donc la valeur du temps écoulé entre deux chutes de styles, que ceux-ci se trouvent rangés aux deux extrémités de la série, ou qu'ils soient placés consécutivement l'un près de l'autre ; de cette manière on peut aisément totaliser les instants des chutes successives des styles, ce qui est un avantage pour la vérification des indications fournies par ces styles sur le chronographe.

Ces indications, comme on l'a déjà compris, consistent dans une série de courbes circulaires tracées chacune par un style particulier. On peut se servir de ces courbes de deux manières, soit en considérant pour chacune d'elles l'arc de cercle réellement tracé par le style, soit la partie comprise entre les génératrices sur lesquelles se trouvent les points de chute de deux styles consécutifs. Mais l'emploi de ces deux moyens ne peut en général servir à calculer immédiatement le temps écoulé entre les interruptions des circuits, car dans des appréciations aussi minutieuses, le temps de la chute des styles et celui de la désaimantation ne sont pas négligeables, et contribuent à diminuer l'étendue de la courbe tracée. D'un autre côté, le temps employé par les leviers *porte-style* pour aller toucher les leviers rhéotomiques *l*, entraîne l'allongement de cette même courbe. De sorte que ce serait dans le cas particulier où ces deux effets se neutraliseraient que la courbe représenterait exactement le temps cherché. Cela aurait lieu si le style tombait et se relevait instantanément, quand les circuits correspondants sont interrompus, ce qui est impossible, ou si les temps de chute et de relèvement étaient égaux, ce qu'il est possible d'obtenir, encore y aurait-il toujours l'influence de la force coercitive qui serait à déterminer.

Pour obtenir la valeur des corrections à introduire dans les formules, M. Martin de Brettes propose les moyens

suivants : d'abord, pour la détermination du temps employé par l'un des styles à tomber sur le cylindre, il suffit de couper le circuit correspondant à ce style, et de mettre une des extrémités coupées en rapport métallique avec le disque du disjoncteur; de cette manière, le circuit est fermé pendant tout le temps de la rotation du cylindre C, sauf l'instant où la petite partie isolante de ce disjoncteur rencontre le ressort communicateur. Avant d'opérer, on doit régler la résistance du nouveau circuit, de manière à être la même qu'avant l'introduction du disjoncteur.

Quand le disjoncteur ainsi disposé tournera, il arrivera qu'au moment de l'interruption du courant par ce disjoncteur, le style correspondant tombera sur le cylindre enregistreur pour se relever immédiatement après le passage de la partie isolante sous le frotteur. Pour que le point de chute du style sur ce cylindre fût sur la même génératrice que l'arête initiale de la partie isolante du disjoncteur, il faudrait que le temps de la chute du style fût nul, ce qui est impossible, mais la différence des deux génératrices menées l'une par cette arête initiale du disjoncteur, l'autre par le commencement de la trace laissée par le style sur le cylindre, pourra donner la valeur du temps de cette chute.

On détermine de la même manière la valeur du temps employé par l'un des styles à relever celui qui le précède. Il devient dès lors facile, en faisant entrer ces valeurs dans les formules, d'obtenir les vitesses cherchées.

Pour ne pas renouveler à chaque expérience la détermination de ces valeurs, M. Martin de Brettes en fait un tableau définitif correspondant à divers nombres de tours de cylindre enregistreur, en les rapportant à une intensité déterminée de courant, de sorte qu'il suffit d'interposer dans les circuits sur lesquels on doit opérer, une résistance capable de ramener les courants à cette intensité,

pour qu'on puisse se passer de toute expérience préparatoire.

Dans son ouvrage, M. Martin de Brettes décrit avec détails les moyens de constater avec cet appareil : 1° la vitesse initiale des projectiles; 2° la mesure immédiate de la vitesse de ces projectiles en un point quelconque de leur trajectoire; 3° la mesure immédiate de la vitesse des projectiles en plusieurs points de leur trajectoire; 4° la vitesse maxima des éclats ou des balles d'obus. Nous ne nous arrêterons pas à l'explication de ces moyens qui d'ailleurs se devinent aisément, car notre but n'est pas de faire ici un traité de balistique.

Autres sytèmes de M. Martin de Brettes — On a vu que le chronographe précédent pouvait être employé pour mesurer une certaine durée quand celle-ci représentait sur le cylindre un arc moindre d'une circonférence entière. Quand on n'a qu'une seule durée à mesurer, on peut toujours la représenter par un arc moindre d'une circonférence en donnant au cylindre une vitesse de rotation convenable, mais lorsqu'il s'agit de mesurer plusieurs durées successives, et très-différentes les unes des autres, il n'en est plus ainsi, car tandis qu'un petit arc de cercle suffira pour représenter un de ces temps, il pourra arriver qu'il en faille un plus grand qu'une circonférence entière pour mesurer un autre temps; il est donc nécessaire de modifier la disposition de l'appareil traçant du chronographe précédent pour le rendre applicable à la mesure de toutes les vitesses.

Dans ce but, M. Martin de Brettes propose de fixer tout le système traçant sur un chariot mobile guidé par deux règles en fer et conduit par une vis sans fin à la manière des écrous mobiles. Le mouvement de cette vis serait commandé par un fort mouvement d'horlogerie à ailettes qui pourrait être accéléré ou retardé à volonté pour être mis

en rapport avec la vitesse du mécanisme moteur du chronographe. Avec cette disposition, les traces laissées par les styles seraient des portions d'hélice qui ne pourraient se superposer.

Pour éviter le calcul des temps de chute des styles et de leur relèvement, M. Martin de Brettes a aussi imaginé une combinaison particulière des styles que nous devons mentionner.

Dans cette combinaison, les leviers *porte-style* que nous avons étudiés seraient remplacés par d'autres, dont le centre de gravité serait placé au-dessous de l'axe de rotation, mais dont les palettes de fer seraient placées à leur partie inférieure. La partie supérieure serait munie d'une vis de rappel, destinée à mettre le style à une distance convenable du cylindre, mais toujours très-petite. D'un autre côté, les électro-aimants au lieu d'être à simples hélices, en posséderaient deux à travers lesquelles passeraient deux courants de sens contraire équilibrés. Des vis de rappel donneraient le moyen d'amener ces électro-aimants à une distance des palettes telle que l'action électro-magnétique pût s'exercer facilement. Les circuits secondaires établis par les petits leviers coudés à mesure que les styles tomberaient sur le cylindre, seraient composés de manière que leur résistance respective fût égale à celle du circuit interrompu qu'ils devraient remplacer. Enfin les communications électriques seraient établies, de façon à ce que les courants équilibrés, après avoir parcouru les hélices de chaque électro-aimant vinssent aboutir les uns (ceux d'ordre pair) aux cibles, les autres (ceux d'ordre impair), aux pôles de la pile.

Le jeu de cet appareil s'explique facilement. Quand l'expérience commence les styles sont éloignés du cylindre, parce que les courants équilibrés sont tous les deux fermés, l'un directement, l'autre par l'intermédiaire des ci-

bles, et que la pesanteur tend à écarter ces styles du cylindre. Mais lorsque les cibles viennent à être percées, la neutralisation magnétique des électro-aimants cesse, et les styles sont poussés successivement sur le cylindre enregistreur. Or, dans cette réaction, les contacts secondaires interviennent et il en résulte que la cible n° 2, par exemple, après avoir fait réagir le style n° 2, provoque dans l'électro-aimant du style n° 1, la fermeture du courant, que la cible n° 1 avait rompu après avoir été percée; ce style revient donc à sa position normale. Les fonctions des styles s'opèrent ainsi qu'on le voit dans ce cas comme dans le premier système; seulement c'est l'action attractive de l'électro-aimant qu'on utilise au lieu de son inertie magnétique, ce qui rend les retards de chute du style presque négligeables, ou tout au moins susceptibles d'être considérés comme une quantité constante, quantité qu'on pourrait réduire, en disposant l'appareil de manière que les styles dans leur position normale appuyassent contre le cylindre, et ne s'en éloignassent qu'au moment de l'interruption du courant.

M. Martin de Brettes a combiné encore plusieurs autres systèmes chronographiques fondés sur des principes différents de ceux que nous venons d'étudier. C'est ainsi que dès l'année 1847, il avait pensé à appliquer l'électricité au pendule balistique du colonel Parizot, pour obtenir le déclanchement et l'arrêt de ce pendule sous l'influence de la rupture de deux circuits. Par une disposition très-simple, il était même parvenu à éviter l'influence de la force coercitive des électro-aimants en faisant réagir ceux-ci par attraction. Cette disposition consistait à soutenir le pendule et son levier d'arrêt par des crochets d'encliquetage, adaptés aux armatures de ces électro-aimants, et à munir les bobines de ceux-ci de deux hélices traversées par des courants équilibrés. Pour rendre les mesures comparables, M. Martin de Brettes, au lieu d'employer un limbe égale-

ment divisé, se servait d'un limbe gradué d'après la loi des vitesses acquises pendant l'oscillation, et en tenant compte de la hauteur de chute du levier arrêt.

Par une autre disposition du pendule balistique, M. Martin de Brettes est parvenu à lui faire marquer l'arc décrit depuis le commencement de son mouvement, jusqu'au moment de la réaction secondaire qui devrait l'arrêter, mais qui par le fait ne l'arrête que très-imparfaitement. Pour obtenir ce résultat, M. Martin place dans la lentille du pendule, le pinceau ou style qui doit fournir la trace et le mécanisme électro-magnétique qui doit le faire fonctionner. Ce mécanisme consiste dans un électro-aimant à hélices équilibrées dont l'armature, par l'intermédiaire d'une tige contournée en conséquence, porte la pointe traçante. (Voir fig. 7, pl. VIII.)

Cet électro-aimant est en rapport par des fils plongeant dans des godets de mercure avec les cibles, tandis que l'électro-aimant de détente du pendule peut être indépendant. Supposons, par exemple, qu'il réagisse au moment où on met le feu à la pièce de canon : il arrivera que le pendule sera mis en mouvement avant que la première cible n'ait été atteinte. Or, quand le circuit en rapport avec cette cible aura été rompu, l'électro-aimant renfermé dans le pendule aura son équilibre électrique rompu, et fera appuyer sur le limbe la pointe traçante; celle-ci décrira donc un arc de cercle qui ne sera interrompu que quand le deuxième circuit correspondant à la deuxième cible aura été rompu à son tour. Connaissant de grandeur et de position l'arc décrit pendant un certain temps par un mobile partant d'un point connu on pourra calculer exactement ce temps, soit au moyen des formules que donne la mécanique, soit par le procédé du général Poncelet, etc. Pour corriger dans ce système le retard d'action dû à la force coercitive, lors de l'interruption du deuxième circuit à travers l'électro-

aimant du pendule, on pourrait interrompre simultanément les deux courants traversant cet électro-aimant quand le pendule est en mouvement au bas de la courbe d'oscillation; alors; ou le style ne fera qu'un point, ce qui indiquera que les temps de chute et de relèvement du style sont égaux, et par conséquent qu'il n'y a pas lieu de s'en occuper, ou bien le style fera une marque plus ou moins longue et sa longueur indiquera la diminution à faire subir à l'arc décrit pour qu'il représente avec exactitude le temps cherché.

Pour éviter les inconvénients qui résultent de la force coercitive des électro-aimants, M. Martin de Brettes a voulu remplacer dans les appareils que nous venons de décrir les électro-aimants par des bobines magnétiques; mais cette substitution ne nous paraît pas complétement heureuse, attendu que la force électrique nécessaire pour maintenir suspendu à l'intérieur d'une hélice, un cylindre de fer, fût-il même d'un petit volume, est beaucoup plus considérable que celle dont on peut disposer dans ces sortes d'expériences; nous ne parlerons donc pas de ces nouvelles dispositions qui du reste, n'ont rien de particulier en elles-mêmes.

M. Martin de Brettes indique encore dans son ouvrage plusieurs autres systèmes chronographiques imaginés par lui dans lesquels il a utilisé soit l'instantanéité des courants d'induction, soit l'étincelle qui en résulte. Dans le premier cas il fait réagir ces courants d'induction sur l'électro-aimant du chronographe à pointage de M. Breguet, en employant pour les provoquer la rupture même du circuit dans lequel se trouve interposée l'hélice inductrice. Le pointage se fait donc sous l'influence d'une attraction sans qu'il y ait eu pour cela combinaison de deux courants équilibrés. De plus, comme la durée du courant d'induction est instantanée, l'appareil devient libre aussitôt que le point

noir a été marqué, ce qui permet de faire réagir sur lui un nombre quelconque de circuits mis en rapport avec des cibles différentes. Avec ce système il faut donc autant de piles et de doubles hélices d'induction que de cibles, encore les indications fournies ne présenteraient-elles pas une grande exactitude en raison du peu de vitesse dont est animée l'aiguille traçante de ces chronographes.

Quand il utilise l'étincelle d'induction de la machine de Ruhmkorff comme organe traçant, M. Martin de Brettes emploie plusieurs systèmes de relais analogues, quant à l'effet, à ceux du capitaine Navez, c'est-à-dire des bobines magnétiques dont l'armature en tombant sur un conjoncteur ferme un courant électrique. Ce courant électrique ainsi fermé traverse l'hélice inductrice de l'appareil Ruhmkorff placé à la station d'observation. Le circuit induit de cet appareil est en rapport, d'un côté, avec un cylindre métallique auquel est imprimé un mouvement de rotation très-accéléré et connu, et sur la surface duquel est appliquée une feuille de papier; de l'autre avec une pointe métallique maintenue à une très-petite distance de cette feuille de papier. Quand le courant induit est créé, une étincelle s'échange entre la surface du cylindre et la pointe métallique, et cette étincelle traverse la feuille de papier. Or, comme ce courant est créé chaque fois qu'un des relais dont nous avons parlé laisse tomber son armature, et comme d'ailleurs ces relais correspondent aux différentes cibles, il en résulte qu'on obtient autant de trous sur la feuille de papier qu'il y a eu de cibles traversées par le boulet. Connaissant la hauteur de chute des armatures des relais, la valeur des distances séparant ces différents trous, on détermine aisément les différentes vitesses du projectile.

Je ne parlerai pas ici des modifications que M. Martin de Brettes a proposées pour les appareils de MM. Wheatstone,

Hipp, Pouillet, Breguet, Konstantinoff et Navez, car cela m'entraînerait beaucoup trop loin, je renverrai les personnes que cette question intéresse à l'ouvrage de M. Martin de Brettes, et je terminerai ce chapitre par la description rapide d'un système chronographique expérimenté en Suède par le baron Wrède.

Dans ce système chronographique l'appareil enregistreur est, comme ceux de MM. Wheatstone, Hipp et Breguet, un chronomètre à détente dont le jeu est déterminé par l'attraction exercée sur une palette aimantée par un électro-aimant. Au moment où le boulet frappe une première cible, un conjoncteur est mis en jeu et le chronographe fonctionne.

En frappant une seconde cible, ce même boulet provoque la mise en action d'un commutateur à renversement de pôles qui, en inversant le courant dans l'électro-aimant du chronographe, détermine la répulsion de son armature et par suite l'arrêt de l'appareil. Avec ce système on évite donc les effets du magnétisme rémanent.

Machines d'Atwood électro-magnétiques. — M. Wheatstone, comme on l'a vu page 336, à l'article de son chronoscope, est le premier qui ait songé à appliquer l'électro-magnétisme à la vérification des lois de la chute des corps. Son appareil consistait dans une longue colonne sur laquelle pouvait glisser, au moyen d'un anneau, un support horizontal FG, fig. 9, pl. VIII, à l'extrémité duquel se trouvait placé le mobile K. Ce support pouvait être fixé en tel ou tel point de la colonne au moyen d'une vis de pression, et la position exacte de ce point était indiquée par une échelle gravée sur cette colonne. Le mobile K était suspendu à un ressort *f* qui, en unissant métalliquement les deux points *e* et *i*, fermait le courant à travers le chronoscope; mais, aussitôt qu'on poussait ce ressort, le mobile tombait et le courant se trouvait rompu; alors les aiguilles du chronoscope

étaient mises en mouvement et ne s'arrêtaient que lorsque le mobile K, en tombant sur un conjoncteur B, rétablissait le courant à travers l'appareil; la fonction de ce conjoncteur était d'ailleurs assurée au moyen d'un petit encliquetage *mn*.

En plaçant le support F G à différentes hauteurs, on pouvait étudier les lois d'accélération de la pesanteur suivant les hauteurs.

Depuis l'établissement de cet appareil par M. Hipp, plusieurs constructeurs se sont occupés d'en appliquer le principe aux machines d'Atwood qu'ils avaient à construire; les uns en laissant subsister tous les rouages de la machine et n'employant l'électricité que pour mettre en action le chronomètre, ce qui est parfaitement inutile; les autres, avec beaucoup plus d'intelligence, en supprimant tous les rouages et en changeant le support d'arrêt du mobile en un support conjoncteur. L'appareil de MM. Breton frères, que nous avons représenté fig. 10, pl. VIII, est un des plus perfectionnés dans ce genre.

Chronographes compteurs. — Dès l'année 1840, M. Wheatstone avait appliqué son chronoscope à la mesure de la vitesse de rotation des axes des moteurs. M. Breguet lui-même en avait fait autant de son chronographe, et, dans la note que ce dernier envoya à l'Académie, en 1845, il signale cette application de l'électricité comme pouvant être très-utile. Voici ce qu'il dit à cet égard :

« Cet instrument pourra, ce qui nous semble, être employé avec avantage dans les usines, car, au moyen de conducteurs partant du cabinet du directeur et communiquant, soit au volant, soit au cylindre d'une machine à vapeur, on pourra, à chaque instant de la journée et sans se déranger, connaître la vitesse de l'un ou de l'autre. Cet instrument pourrait encore servir utilement dans les observations que l'on peut faire sur la vitesse des roues hydrauliques, suivant

la nature des opérations que l'on fait exécuter aux outils qu'elles conduisent. »

On pourrait également appliquer le système des chronoscopes à la mesure de la vitesse des voitures et à l'indication du chemin qu'elles parcourent; j'avais même, il y a quelques années, imaginé un système de chronographe dans ce but [1]; mais il est plus simple et préférable d'employer le système que nous avons décrit dans le chapitre II, sous le nom de *régulateur de vitesse*. Car on n'a pas de pile à transporter, ce qui est un immense avantage. »

ENREGISTREURS ET APPAREILS MÉTÉOROLOGIQUES.

S'il est une science qui puisse recevoir de l'application des moyens physiques et mécaniques un secours précieux et de tous les instants, c'est bien certainement la météorologie. Depuis longtemps, en effet, l'annotation des observations météorologiques exerce la patience et le zèle des savants, et pourtant, bien que leurs travaux aient fourni de précieux renseignements, d'importantes révélations sur certains phénomènes atmosphériques, ces travaux ne pourront être concluants qu'autant que les observations seront multipliées et faites simultanément sur les différents points du globe. Or, le zèle nécessaire pour ces sortes de travaux est bien rare à rencontrer, et l'on peut comprendre dès lors combien serait utile l'emploi d'instruments qui pourraient annoter eux-mêmes, d'une manière continue, les différentes influences atmosphériques, instruments que l'on pourrait placer en tels ou tels points du globe que l'on croirait importants pour ces sortes d'observations, sans qu'il soit besoin de la présence d'un homme dont le zèle pourrait répondre de l'exactitude.

Pour ces sortes d'instruments, l'électricité a pu fournir

1. Voir la première édition, page 156.

un secours merveilleux, et, dès 1843, M. Wheatstone avait déjà conçu son *thermomètre-télégraphe* qui, exécuté sur une plus grande échelle, fut appelé *enregistreur-météorologique*, et établi à Kiew quelques années plus tard. Au moyen de cet instrument, toutes les indications relatives au baromètre, au thermomètre et au psychromètre se trouvent inscrites de cinq en cinq minutes, et cela, à quelque distance que l'on soit de ces instruments, qu'ils aient été emportés dans l'espace par un ballon captif ou qu'on les ait enfouis en terre.

Thermomètre télégraphe de M. Wheatstone.— Le thermomètre télégraphe destiné à être enlevé par un ballon, pèse, avec la boîte qui le contient, un peu plus de quatre livres. Son mécanisme se compose principalement d'une petite horloge qui fait descendre et monter, régulièrement en cinq minutes, un engrenage vertical; cet engrenage porte un fil fin de platine qui se meut dans le tube du thermomètre, de manière à comprendre dans sa course toute l'échelle thermométrique. Deux fils fins de cuivre, recouverts de soie et d'une longueur suffisante pour unir le ballon à la terre, dans sa plus grande élévation, sont fixés à l'instrument, de telle manière que l'extrémité de l'un des fils plonge dans le mercure du thermomètre, et que l'extrémité de l'autre soit en contact avec les rouages de l'horloge, lesquels communiquent métalliquement avec le fil de platine. L'extrémité inférieure de chacun de ces deux fils est attachée à un pôle de la pile, et un galvanomètre sensible se trouve interposé dans le circuit. Si l'on a disposé le galvanomètre de manière que l'aiguille marque le zéro, quand le courant est interrompu, il conservera cette même disposition tant que le fil de platine ne sera pas en contact avec le mercure du tube, mais l'aiguille déviera aussitôt que le contact aura lieu et restera déviée jusqu'à ce que ce contact soit de nouveau rompu par l'ascension de l'engrenage qui porte le fil.

L'instrument étant ainsi disposé, et le mouvement d'hor

logerie réglé d'après un chronomètre-type qui restera à terre, supposez qu'après avoir observé la déviation de l'aiguille du galvanomètre, vous ayez constaté sur le chronomètre le moment où le courant se trouve rompu, vous saurez qu'alors commence la course ascensionnelle du fil de platine; par conséquent, si la température reste la même, le courant sera de nouveau rétabli dans cinq minutes; mais si, au contraire, la température change, cette fermeture du courant aura lieu avant ou après les cinq minutes. Connaissant la relation qui existe entre une seconde ou une demi-seconde et l'étendue de chaque degré du thermomètre, on peut facilement calculer, d'après le temps écoulé entre les fermetures consécutives du courant, les différents degrés de température indiqués par le thermomètre.

On conçoit que le même mécanisme peut être appliqué au baromètre et au psychromètre, pourvu qu'ils soient suspendus en équilibre dans le ballon.

L'appareil tel qu'il vient d'être décrit n'enregistre pas, comme on le voit, les observations, et pourtant, en théorie, la chose serait facile, car il suffirait de remplacer le galvanomètre par un électro-aimant muni d'un crayon qui tracerait, sur un cylindre tournant régulièrement, un trait à chaque fermeture du courant. Mais, pour qu'un électro-aimant puisse agir lorsqu'il est interposé dans un circuit considérable, il faut des fils conducteurs un peu gros, une pile énergique; or, il importait, pour ne pas charger le ballon, d'agir avec des fils très-fins. De plus, il fallait employer une pile très-faible pour ne pas provoquer une étincelle qui aurait pu causer quelques trépidations de la part de la surface du mercure du thermomètre; force a donc été d'employer dans ce cas le galvanomètre.

Enregistreur météorologique de Wheatstone. — L'annotation des indications thermométriques, barométriques et psychrométriques a été réalisée dans l'enregistreur météo-

rologique établi à Kiew et que nous avons représenté en principe dans la fig. 12, Pl. VIII.

Bien que fondé sur le même principe que l'instrument précédent, il en diffère pourtant en ce que l'enregistrement des observations se produit au moment où le fil sort du mercure et où, par conséquent, le courant se trouve rompu. En cet instant, en effet, l'électro-aimant M dont nous avons admis la présence, quand il s'agissait de produire une annotation écrite de la part de l'appareil précédent, se trouve inactif et laisse tomber son armature A contre un levier de détente B C D qui laisse libre un mouvement d'horlogerie. A ce mouvement d'horlogerie indépendant de celui P qui provoque, au moyen des poulies *a*, *b*, *c*, l'ascension et la descente des fils dans les instruments, correspond un levier à marteau E F, comme celui d'une sonnerie, qui se trouve disposé de manière à frapper les extrémités de deux étoiles flexibles G H, G′H′ dont les rayons portent des caractères en relief[1]. Ces caractères ainsi frappés, peuvent laisser leur empreinte sur un cylindre O revêtu d'une feuille de papier, lequel est mis en rapport de mouvement avec le mécanisme d'horlogerie du marteau, à la manière des télégraphes imprimeurs.

Les étoiles flexibles (voir fig. 13), appelées roues des types, dont le mouvement (provenant de l'horloge P) s'accorde parfaitement avec l'ascension et la descente des fils qui plongent dans le mercure des instruments, sont tellement disposées que quand l'une, G H, munie de quinze rayons portant chacun une lettre, a fait un tour sur elle-même en trente secondes, l'autre roue qui n'a que douze rayons correspondant aux dix chiffres et au point de repère, n'a accompli qu'un douzième de sa révolution. Il en résulte que cette dernière fait sa révolution entière en six minutes,

1. Ces étoiles sont vues de champ sur la figure ; et comme elles sont toutes les deux placées dans le même plan, on n'en voit qu'une.

précisément l'intervalle compris entre une ascension et une descente du fil, car une minute a été calculée pour la descente du fil ou son replacement à son point de départ.

On comprend, d'après cela, que plus la colonne de mercure sera élevée dans les tubes des instruments, plus la détente du mécanisme imprimeur mettra de temps avant d'agir, et plus, par conséquent, il y aura de rayons des roues des types qui auront échappé au coup de marteau. Connaissant donc la valeur en fractions de millimètres, représentée par chacun des caractères des deux roues, on peut connaître, par l'inspection de leurs traces, les diverses oscillations des colonnes mercurielles.

Comme chaque rayon de la roue des types qui fait son tour en trente secondes, met deux secondes pour arriver à la place qu'elle doit occuper pour être susceptible de recevoir le choc du marteau imprimeur, et que, pendant cet intervalle très-court, il pourrait arriver que le fil quitterait le mercure, M. Wheatstone a adapté à son instrument le rhéotome que nous avons décrit page 295 (1er vol.). Au moyen de ce rhéotome, l'action du courant est prolongée, après que le fil a quitté le mercure, toutes les fois que cet effet a lieu pendant un changement de rayon de la roue des types.

Pour donner à l'armature de l'électro-aimant du mécanisme imprimeur une chute considérable, sans perdre les bénéfices de l'attraction à petite distance, M. Wheatstone a imaginé un petit mécanisme complémentaire fort ingénieux et qui pourrait être employé dans beaucoup d'autres cas. C'est une petite roue K placée sous l'armature elle-même, et qui est mise en rotation par le mouvement d'horlogerie correspondant. A cet effet, elle est munie d'une petite cheville J qui, en rencontrant cette armature, la relève graduellement et la rapproche de l'aimant pendant la minute inactive. Après l'avoir élevée à son maximum et l'avoir

abandonnée à l'attraction de l'aimant, elle passe outre pour laisser place à une nouvelle chute lorsqu'elle devra tomber au moment de l'observation.

On pourrait croire, d'après la description précédente, que chaque instrument météorologique exigerait des roues à types et un appareil à percussion séparés; mais un commutateur bien simple a permis à M. Wheatstone de faire enregistrer les indications de tous les instruments par le même appareil. C'est un cercle R de dix secteurs en cuivre, isolés les uns des autres par dix séparations en ivoire; trois de ces secteurs métalliques sont isolément en communication métallique avec un des instruments, et un index à deux branches peut réunir successivement ces secteurs avec leurs opposés qui sont en communication directe avec l'autre branche du courant, c'est-à-dire celle qui passe par l'électro-aimant de détente. L'index étant relié au mouvement d'horlogerie et accomplissant une révolution autour de son centre en une heure, chaque secteur se trouve donc posséder le courant pendant six minutes, et c'est précisément le temps d'une ascension et d'une descente du fil métallique dans les tubes des instruments. Or, comme les trois secteurs se suivent, chacun des trois instruments a alternativement ses indications transcrites de vingt-quatre en vingt-quatre minutes [1].

Anémomètres électriques. — De tous les instruments de la météorologie, le plus ingrat, le plus inconstant dans ses indications, et celui qui exige le plus de dévouement de la part de l'observateur, est sans contredit l'anémomètre. Pourtant une étude suivie des vents et de nombreuses séries d'observations faites simultanément, dans un grand nombre d'endroits, non-seulement enrichirait la science d'une branche féconde en phénomènes de tous genres, mais pour-

1. Voir, pour les détails, l'ouvrage de M. l'abbé Moigno.

rait venir en aide à l'agriculture, à l'horticulture, à la botanique, etc.; car des vents dépendent les variations accidentelles de la température et, par suite, la plupart des phénomènes atmosphériques.

On a bien cherché, à plusieurs reprises, le moyen d'obtenir des observations continues, à l'aide de certains mécanismes plus ou moins compliqués, et, pour mon compte personnel, j'en avais fait construire un à clepsydre qui, pendant un an, m'a fourni des indications fort importantes; mais je me suis assuré par l'expérience que, bien que les indications fournies par cet instrument fussent consignées pour un intervalle de vingt-quatre heures entre chaque observation, le relevé de ces indications et les apprêts nécessaires pour en obtenir de nouvelles exigent un si grand zèle de la part de l'observateur, que peu de personnes en sont susceptibles. D'ailleurs, la position élevée qu'on est obligé de donner à l'instrument et la nécessité de l'aborder facilement, conditions qui, dans la plupart des cas, ne peuvent être remplies qu'en le plaçant sur une tour ou sur une terrasse belvédère, rendent son emploi assez difficile et son observation très-gênante et très-pénible, surtout par les mauvais temps. Je me suis mis alors à rechercher s'il n'y aurait pas moyen d'obtenir dans mon cabinet et, par l'intermédiaire seul de l'électricité, les indications de mon anémomètre, et voici comment j'ai résolu le problème dans mon anémographe électrique [1] :

Supposez qu'un anémomètre, dont nous allons indiquer à l'instant la disposition, soit placé au sommet d'un toit, d'une tour ou d'une montagne même, que des fils métalliques, combinés en conséquence, unissent cet instrument à un autre appareil que j'appellerai *récepteur*, qui sera placé dans le cabinet de l'observateur, on pourra comprendre déjà

1. Construit en mai 1852

qu'un courant électrique passant à propos par ces fils et les deux appareils, pourra, à l'aide de certains mécanismes adaptés à l'anémomètre, se trouver interrompu ou rétabli suivant la vitesse et la direction du vent. Or, ces interruptions pouvant faire agir des organes sensibles électro-magnétiques placés sur l'appareil récepteur, il suffit d'adapter à celui-ci un mécanisme marquant le temps, pour obtenir des indications continues inscrites sous l'influence du vent, par le seul intermédiaire de l'électricité. Tel est le principe de mon anémographe électrique qui, en raison des renseignements qu'il doit fournir, se compose de trois systèmes ayant des fonctions différentes à remplir : 1° *l'anémomètre* proprement dit, 2° *l'appareil récepteur*, 3° *les calculateurs*.

Anémomètre. — Un anémomètre se compose, comme tout le monde le sait, d'une girouette accompagnée d'un moulinet de Woltmann, le tout monté sur un axe mobile; mais comme, dans le cas qui nous occupe, cet appareil doit fournir la durée des différents vents, la vitesse moyenne de chacun d'eux pendant la journée et la vitesse moyenne du vent aux différentes heures du jour. Cette girouette doit agir, 1° sur un commutateur *azimutal;* 2° sur un système rhéotomique disposé de telle manière que, suivant sa direction et pendant le temps qu'il reste dans cette direction, le moulinet puisse laisser un indice des tours qu'il accomplit; 3° enfin sur un compteur intermédiaire entre le moulinet et le compteur de l'appareil récepteur.

Le commutateur azimutal se compose d'une circonférence métallique appliquée sur le plancher A B, fig. 1, pl. IX, du bâti de l'appareil et divisée en huit secteurs isolés métalliquement les uns des autres. Sur cette circonférence appuie sans cesse un frotteur à piston C D, porté par l'axe de la girouette qui établit sans cesse, entre cet axe et les secteurs, un rapport métallique très-intime. Si donc chacun de ces secteurs est relié par un fil spécial avec l'appareil

récepteur de manière à être en rapport avec un même pôle de la pile et, si d'un autre côté la crapaudine sur laquelle pivote l'axe de la girouette est en communication directe avec l'autre pôle de cette même pile, il arrive forcément qu'un courant se trouve *toujours fermé* à travers l'un ou l'autre des secteurs, suivant la direction du frotteur C D, c'est-à-dire suivant la direction du vent. La fig. 2 peut donner une idée de ce commutateur : I, I, I, I sont les secteurs auxquels aboutissent les fils qui relient l'anémomètre à l'appareil récepteur; P est le frotteur à piston qui est sollicité toujours à appuyer sur la circonférence métallique par un ressort à boudin, comme nous l'avons expliqué page 252, 1er vol.

Le système rhéotomique pour l'indication des tours que le moulinet accomplit suivant chaque direction du vent, est exactement semblable au commutateur précédent. C'est également un frotteur C′ D′ fig. 1 qui, en se portant tour à tour sur l'un ou l'autre des secteurs d'une circonférence métallique divisée fixée sur le second plancher E F de l'anémomètre, permet à un courant spécial, dirigé sur le moulinet, de faire enregistrer les différents tours qu'il accomplit, sur tel ou tel compteur de l'appareil récepteur. Seulement, pour éviter le mélange des courants, le frotteur C′ D′ est isolé de l'axe de la girouette par un manchon de bois, et c'est un ressort R qui lui amène le courant.

Le moulinet anémométrique se compose de quatre ailes de moulin à vent montées sur un axe horizontal G H disposé dans le même plan que la palette de la girouette; par conséquent, il suit tous les mouvements de celle-ci et se trouve toujours orienté de manière à faire face au vent. L'axe de ce moulinet porte une roue K qui engrène avec une autre L de même diamètre, au moyen d'une chaîne, de sorte que le moulinet est dégagé de tout obstacle à l'action du vent, et son mouvement se trouve transporté sur

l'axe LQ qui commande le compteur intermédiaire à l'intérieur de l'appareil. Celui-ci peut d'ailleurs être mis parfaitement à l'abri, au moyen d'un toit mobile *abc* fixé en *b* sur l'axe de la girouette.

L'axe QL porte une vis sans fin qui engrène avec une roue I de soixante dents, armée sur l'une de ses faces de quatre chevilles, et sur l'autre d'un butoir de platine. A portée de ces chevilles et de ce butoir se trouvent deux lames de ressort isolées *rr'*, l'une qui est en rapport avec une bague J également isolée et fixée sur l'axe de la girouette, l'autre qui communique avec le frotteur C'D'.

Avec cette disposition, il arrive que le courant transmis à l'axe de la girouette peut se trouver complété par la rencontre des chevilles et du butoir avec les ressorts qui leur correspondent, si les secteurs de la circonférence EF et la bague J sont mis en rapport avec la pile. Or, ce courant ainsi fermé peut réagir sur des compteurs interposés dans les circuits allant aux secteurs et à la bague J.

Le circuit en rapport avec la bague J correspondra à l'appareil destiné à enregistrer la vitesse diurne du vent; par conséquent, il ne sera traversé par le courant que tous les soixante tours du moulinet.

Les huit autres circuits correspondant au système rhéotomique et aux appareils qui doivent enregistrer la vitesse du vent dans chacune de ses directions ne seront affectés qu'isolément, suivant la direction de la girouette, et le courant les traversera tous les quinze tours du moulinet.

Pour éviter les erreurs qui pourraient résulter des variations brusques et insignifiantes du vent, un système de palettes MM, plongeant dans une bassine circulaire remplie d'eau, a été fixé en P sur l'axe de la girouette. De cette manière, celle-ci n'est sensible qu'aux déplacements importants des courants d'air. Cette condition de l'instrument est indispensable, car, sans elle, il arriverait que tel nombre

de tours de moulinet accompli dans telle direction du vent pourrait être enregistré sur un compteur n'appartenant pas à ce vent. Aussi faut-il que la dimension des plaques M M soit calculée de manière à retarder le mouvement de la girouette d'une quantité en rapport avec le temps moyen employé par le moulinet à accomplir quinze tours sur lui-même [1].

Appareil récepteur. — Cet appareil se compose de quatre systèmes parfaitement distincts les uns des autres : 1° d'un système pour l'enregistrement des vents dans l'ordre de leur succession, et avec leur durée partielle; 2° d'un système au moyen duquel on peut voir immédiatement la somme totale des instants pendant lesquels chaque vent a soufflé; 3° d'un système de compteurs pour l'enregistrement des tours accomplis par le moulinet suivant chaque direction de vent; 4° d'un compteur pour l'indication des tours accomplis par le moulinet aux différentes heures du jour.

Nous avons vu que l'anémomètre, par son commutateur azimutal, pouvait, suivant l'influence du vent, distribuer successivement le courant électrique dans huit circuits différents ayant un fil commun pour le retour à la pile. Il ne s'agit, par conséquent, pour obtenir des indications en rapport avec les fermetures temporaires de ces différents circuits, que d'interposer, dans les huit fils qui unissent l'anémomètre à l'appareil récepteur, un organe sensible à l'action électrique. Cet organe sensible aurait pu être une aiguille de fer agissant sur du papier recouvert de cyanure de potassium; mais, pour plusieurs motifs qu'il est facile de deviner, j'ai dû choisir de préférence les électro-aimants.

J'ai donc disposé parallèlement les uns à côté des autres

1. Au moyen d'un système mécanique que j'ai décrit dans ma première édition, cette précaution n'est pas indispensable; mais l'expérience a démontré que ce système n'était applicable que pour les anémomètres sans transmission électrique.

huit électro-aimants, en ayant soin d'interposer leur fil conducteur dans le circuit auquel ils devaient correspondre, et, pour relier au temps les indications fournies par ces organes sensibles, je les ai échelonnés devant un cylindre mû d'une vitesse uniforme par un mouvement d'horlogerie. De cette manière leur armature, en s'abaissant sous l'influence du courant électrique, pouvait entraîner un crayon et faire laisser à celui-ci, sur le cylindre, une trace d'autant plus longue que la fermeture du courant avait duré plus longtemps.

Le cylindre, qui devient alors l'appareil récepteur proprement dit, est relié au mouvement d'horlogerie (qui n'est autre qu'une horloge ordinaire), de telle manière qu'il exécute une révolution sur lui-même en 12 heures. Mais, en même temps que s'accomplit ce mouvement, une vis sans fin, dont l'axe de ce cylindre est muni, le fait avancer d'une quantité constante, deux millimètres environ par révolution.

On comprend aisément qu'avec cette disposition, chacun des crayons des électro-aimants appuyant constamment sur le papier dont le cylindre doit être revêtu, y décrira une hélice dont les spires seront distantes de deux millimètres les unes des autres, et en nombre égal à celui des tours du cylindre, c'est-à-dire à celui des demi-journées pendant lesquelles aura duré le mouvement. De plus, comme on peut tracer à l'avance, à la surface du cylindre et parallèlement à son axe, douze droites équidistantes, on connaîtra à quelle heure de la journée correspond une impression donnée des crayons, par la seule inspection de l'espace où elle se trouve marquée. Des divisions intermédiaires donneraient encore plus d'exactitude à l'observation.

Ainsi, suivant que le courant circule plus ou moins longtemps dans tel ou tel électro-aimant, un trait est laissé sur le cylindre, et la longueur de ce trait, ainsi que sa position, indique non-seulement la durée et la nature du vent qui a

agi sur le commutateur, mais encore le moment de la journée où il a soufflé.

Dans la figure 3, les armatures des huit électro-aimants sont figurées en OOO; elles sont à bascule et disposées au-dessus du cylindre récepteur T, de manière à ce que les crayons le touchent selon sa génératrice, dans le plan vertical, comme on peut le voir dans la figure 4 qui représente l'un de ces électro-aimants vu de profil.

Le cylindre récepteur est figuré en T, fig. 3; il est traversé par un axe de fer terminé par une roue B, qui le relie au mouvement de l'horloge M. Cet axe pivote d'un côté sur un coussinet, de l'autre sur un trou taraudé dans lequel est engagée la vis sans fin V, qui sert au mouvement de translation.

Au moyen du système précédent, on peut suivre en quelque sorte la marche du vent, heure par heure, minute par minute; mais pour les récapitulations mensuelles, si nécessaires pour le calcul des moyennes météorologiques, un tel mode de notation entraîne tant de travail, à cause des variations du vent, qu'on serait bien vite découragé, si, à l'aide de compteurs spéciaux, cette récapitulation n'était faite elle-même par l'instrument. Aussi, le mécanisme que nous allons décrire peut-il être regardé comme un complément du premier, bien qu'on puisse, néanmoins, en faire un appareil tout à fait indépendant. Cette partie de l'appareil récepteur n'a pas d'autre mécanisme transmetteur que celui qui agit sur les électro-aimants portant les crayons. Il est complétement lié aux mouvements de ceux-ci, bien qu'il forme sur l'appareil récepteur un mécanisme indépendant NPQR.

Ce mécanisme consiste dans un arbre horizontal X sur lequel sont montées huit roues d'angle dont l'écartement représente exactement l'intervalle qui sépare les électro-aimants les uns des autres. Cet arbre est placé à l'opposite

du cylindre récepteur et parallèlement à lui, c'est-à-dire derrière les électro-aimants. Il reçoit son mouvement de rotation de l'horloge, par l'intermédiaire d'une chaîne de Vaucanson, dont les roues sont tellement disposées et combinées, qu'il accomplit un tour sur lui-même toutes les deux heures. Au-dessus de ces roues d'angle et s'engrenant avec elles à angle droit, se trouvent huit autres roues d'angle horizontales *a*, fig. 4, d'un diamètre deux fois plus petit, et dont l'axe creux pivote sur une platine fixée au bâti du mécanisme. Ces roues, qui font un tour en une heure, sont toutes constamment engrenées et marchent avec l'horloge.

A une certaine hauteur, au-dessus de chacune de ces roues que nous appellerons *roues motrices*, est disposée une minuterie de pendule dont le pivot de la roue des minutes (la chaussée) traverse l'axe creux de la roue motrice, ainsi que la platine qui la supporte, et vient s'appuyer au-dessous de cette platine sur une lame de ressort très-flexible.

Cette roue des minutes (la chaussée) porte au-dessous d'elle un ressort arqué dont les extrémités sont distantes à peine d'un demi-millimètre de la surface horizontale de la roue motrice, en temps ordinaire, mais qui viennent appuyer sur elle quand le pivot de la roue des minutes se trouve abaissé sur le ressort qui lui sert de support. Alors la minuterie participe au mouvement de la roue motrice, et se trouve engrenée jusqu'à ce que la pression qui a fait abaisser le pivot de la roue des minutes ait cessé.

Un cadran de montre et des aiguilles étant adaptés à chaque minuterie, on comprend que la durée de la pression, qui a pour effet son engrènement, peut être facilement constatée, et que, si ces pressions sont alternatives, leur durée totale ou la somme de leurs durées partielles sera exprimée par le nombre d'heures et de minutes marqué sur le cadran.

Pour obtenir la somme totale des persistances du vent

dans une même direction, il ne s'agira donc que de faire réagir l'électro-aimant correspondant à cette direction sur celle de ces minuteries qui sera à sa portée.

Pour cela j'ai fait l'armature de ces électro-aimants à bascule, et en l'un des points *b* (′) du bras de la bascule opposé à celui qui porte le crayon, j'ai articulé une tige métallique à vis de rallonge, descendant verticalement. Cette tige est ensuite articulée à l'extrémité d'un levier basculant *cd* dont le bras libre va appuyer sur le pivot de l'aiguille des minutes du compteur correspondant. Ainsi disposée, l'armature de l'électro-aimant, en s'abaissant, soulève la tige articulée, et celle-ci, en soulevant à son tour le levier-bascule, lui fait engrener la minuterie. Tant que le courant circule dans l'électro-aimant, l'engrènement subsiste; mais aussitôt qu'il est rompu, la minuterie devient libre.

Dans la figure 4, l'électro-aimant est indiqué en A, son armature en EB, la tige à vis de rallonge en D, le levier à bascule en *cd*, la minuterie en L, les aiguilles en K, et les roues motrices en *g* et en *a*.

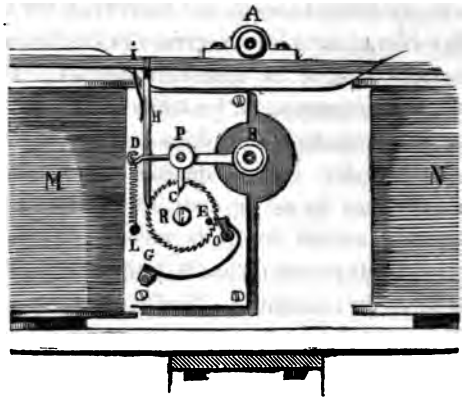
Le troisième système de l'appareil récepteur comprend les compteurs en rapport avec les vitesses des différents vents (voir les fig. 5 et 3). Ils consistent dans huit électro-aimants spéciaux à une seule bobine, qui portent sur leur branche sans bobine une platine en cuivre sur laquelle sont disposées une roue à rochet de cent dents avec ses crochets d'encliquetage, et une autre roue à dents droites, également de cent dents, engrenant avec un pignon que porte la roue à rochet. L'armature de ces électro-aimants porte les cliquets d'impulsion et d'arrêt de telle manière, que chaque fois qu'elle s'abaisse elle fait sauter une dent du rochet. Deux flèches de repère sont fixées sur la platine, et les divisions sont gravées et numérotées de dix en dix sur les roues elles-mêmes. Ainsi disposés, les compteurs sont

placés verticalement les uns vis-à-vis des autres au nombre de quatre de chaque côté, et rangés de manière que les ressorts antagonistes des armatures et les vis de rappel pour le règlement de leur écart soient placés sur un bâti de cuivre commun.

Le quatrième système, celui en rapport avec les indications de la vitesse du vent aux différentes heures de la journée, est le plus simple de tous; il consiste uniquement dans un électro-aimant faisant agir un crayon sur une partie du cylindre récepteur à lui réservée. Cet électro-aimant est placé horizontalement et transversalement à l'extrémité du cylindre; conséquemment, les traits fournis par le crayon que porte son armature sont dans le sens de la génératrice de ce cylindre. Autant de fois que le moulinet de l'anémomètre aura fermé le courant en rapport avec cet électro-aimant, autant de traits seront tracés sur le cylindre, et ces traits seront distincts, puisque dans l'intervalle des fermetures du courant le cylindre aura tourné sur lui-même. Plus le vent sera fort, plus les traits seront rapprochés, et si l'on connaît la relation qui existe entre un kilomètre et le nombre de tours du moulinet que comporte chaque fermeture du courant, il suffira de compter les traits marqués dans chaque intervalle d'une heure, pour suivre les variations diurnes de la vitesse du vent.

Cependant comme, dans les vents un peu forts, les traits ainsi marqués sur le cylindre pourraient être tellement rapprochés qu'ils se confondraient, j'ai été obligé d'établir un compteur spécial pour les grands vents; ce compteur, d'ailleurs, permet un compte plus facile et plus prompt de tous les traits correspondants à une vitesse moindre. Cette partie de l'appareil, placée entre les branches de l'électro-aimant des vitesses, consiste dans une roue à rochet de cinquante dents R, sur laquelle agit un cliquet H, fixé à l'armature de l'électro-aimant, et qui porte en l'un des points

de sa circonférence un doigt E, disposé de telle façon, qu'à chaque révolution de la roue un petit levier coudé BPC, portant un crayon, se trouve mis en jeu. Comme ce dernier crayon correspond au crayon A des petites vitesses, on comprend que les traits laissés par lui correspondent à tous les cinquante traits laissés par l'autre crayon, et que, pour un même intervalle de traits, on peut avoir l'indication d'une vitesse cinquante fois plus grande.



Malgré sa complication, l'appareil, tel qu'il vient d'être décrit, forme un très-joli meuble, qui peut servir en même temps d'horloge et même de régulateur pour des compteurs électro-chronométriques. De plus, un réveil a été ajouté à l'horloge pour prévenir, en cas d'oubli, du moment où l'on doit relever les observations. Il suffit alors de retirer la feuille de papier de dessus le cylindre, d'en remettre une autre, de noter les indications des compteurs, et de remonter les mécanismes pour remettre l'appareil en état de fournir une nouvelle série d'observations. Une pile de Daniell de dix éléments suffit pour faire marcher ce quadruple appareil, et la dépense de son entretien ne s'élève pas à 12 francs par an.

Dans l'anémographe qui a été établi à l'Observatoire, les mécanismes sont combinés de manière à ce que l'enregistrement des crayons s'effectue pendant huit jours consécutifs, et que le relevé des indications des compteurs se fasse toutes les douze heures, par exemple à 9 heures du soir et à 9 heures du matin. Mais l'on comprend facilement qu'en compliquant les mécanismes et en augmentant les dimensions de l'appareil, on pourrait reculer aussi longtemps qu'on le voudrait les époques du relevé des observations. Cependant il vaut mieux, en général, que ce relevé se fasse à des périodes de temps assez rapprochées pour empêcher les erreurs de s'accumuler.

Pour terminer avec l'anémographe, il me reste à parler de certains accessoires, sur lesquels l'expérience m'a fourni de nombreux enseignements : je veux parler des fils conducteurs et de l'établissement du circuit.

L'appareil, tel que nous venons de le décrire, exige 18 fils. Or, s'il fallait s'occuper de chacun d'eux en particulier pour leur isolement et leur introduction dans le cabinet de l'observateur, le travail serait gigantesque et ne fournirait rien de bon comme résultat. Il faut donc nécessairement les réunir et en faire un câble du plus petit volume possible : tel est le problème à résoudre, et ce n'est pas chose aussi facile qu'on peut le croire tout d'abord. La première idée qui vient à l'esprit est de prendre 18 fils recouverts de coton et de les envelopper d'une couche épaisse de gutta-percha, mais la gutta-percha se fend à l'air et coûte fort cher; les enveloppes goudronnées sont fort mauvaises, et celles en caoutchouc hors de prix. Il m'est venu alors à l'idée d'introduire mon câble dans un tuyau de plomb, pensant que de cette manière il serait parfaitement à l'abri. Ce procédé m'a très-bien réussi, grâce à l'habileté de M. Herkemann, qui est parvenu, en faisant passer le câble et son enveloppe dans une filière, à rendre la couche de

plomb complétement adhérente au câble. Ainsi préparés, les 18 fils, ou plutôt les 20 fils, car il y en a 2 de rechange, n'en forment qu'un de la grosseur ordinaire des fils télégraphiques. On a de plus l'avantage que l'enveloppe elle-même peut servir de conducteur et faire ainsi un troisième fil de rechange. Le prix d'ailleurs du câble ainsi établi n'est guère plus cher qu'avec une enveloppe de gutta-percha. Quant au circuit, l'expérience m'a démontré qu'il valait mieux diviser la pile de 10 éléments en deux piles distinctes de 5 éléments chacune : l'une est en rapport avec les deux systèmes pour l'enregistrement de la durée et de la direction du vent; l'autre correspond aux compteurs de la vitesse du vent. Sans doute, en prenant des dérivations, on pourrait faire marcher tous les appareils avec la même pile, mais les piles de Daniell fournissent si peu d'électricité que les dérivations les épuisent promptement.

Bien que les données anémométriques fournies par l'appareil, tel que nous l'avons décrit, soient les plus nécessaires à connaître, il en est encore une dont on ne s'est jamais préoccupé, et qu'il serait pourtant bien important d'étudier : c'est l'inclinaison du vent aux différentes heures de la journée, et suivant sa direction. Voici un appareil que je proposerais dans ce but, et qui pourrait parfaitement s'adapter aux précédents. C'est une palette métallique, qui serait placée perpendiculairement au plan de la girouette, et qui serait mobile autour d'un axe horizontal sur lequel elle serait maintenue en équilibre. Cet axe, toutefois, devrait être isolé métalliquement de la girouette, et la palette elle-même ne devrait la toucher que par un appendice qui servirait de commutateur. Le vent, en soufflant, dirigerait la palette suivant son inclinaison, et l'appendice, en décrivant un arc de cercle, pourrait réagir sur trois plaques conductrices isolées, correspondant aux trois principaux azimuts de l'inclinaison du vent; car il pourrait

établir un courant électrique à travers l'une ou l'autre d'entre elles, ou plutôt dans l'un ou l'autre des circuits auxquels appartiendraient ces plaques. Il suffirait donc de trois électro-aimants armés de crayons, pour marquer sur le cylindre récepteur les différentes inclinaisons du vent.

Comme complément à l'anémographe que nous avons décrit, je lui ai adapté un pluviomètre anémométrique, qui donne la quantité de pluie tombée sous l'influence de chaque vent. Il consiste dans une bassine circulaire de zinc, divisée suivant le rayon, en 8 compartiments. Un entonnoir, soudé sur l'axe de la girouette, et dont le tube de déversement est situé sur le côté, reçoit la pluie par l'intermédiaire d'un pluviomètre ordinaire placé à côté de l'anémomètre, et la distribue dans l'une ou l'autre des huit cases, suivant la direction de la girouette. Connaissant le rapport de la capacité de ces compartiments à la surface du pluviomètre on peut facilement déterminer, par une échelle graduée que l'on plonge dans chaque case, la hauteur d'eau en millimètres, tombée sous l'influence de chaque vent en particulier.

Anémographe à trois fils. — Quand la distance de l'anémomètre à l'appareil enregistreur n'est pas grande, comme par exemple celle d'un toit ou d'une terrasse, à l'une quelconque des pièces de l'intérieur d'une maison, l'anémographe que nous venons de décrire, n'a rien qui puisse empêcher son application, car la dépense des fils conducteurs n'est jamais bien considérable; mais si l'on veut observer la marche des vents à distance, par exemple d'une vallée au sommet d'une montagne, on se trouve dans la nécessité d'économiser les fils, et dans ce cas on peut avoir recours à l'appareil suivant qui est plus simple, mais aussi moins sûr que le précédent.

Dans cet appareil, le commutateur azimutal a la forme

que nous avons décrite page 260 (1er vol.); il a pour effet de faire réagir la girouette sur deux circuits différents, suivant qu'elle tourne dans un sens ou dans l'autre. Quant au mécanisme en rapport avec la vitesse du vent, il est absolument le même que celui de l'anémomètre précédent, moins le second commutateur azimutal qui est supprimé. Ayant décrit longuement dans notre premier volume le jeu du commutateur que nous venons d'indiquer, nous ne reviendrons pas davantage sur cette question. Je rappellerai seulement ici, qu'il a pour effet, non-seulement de réagir sur deux circuits différents, suivant le sens de rotation de la girouette, mais encore d'interrompre le courant autant de fois qu'on le désire à travers ces deux circuits. Nous allons voir maintenant comment ces deux circuits différents peuvent réagir pour distribuer le courant sur les électro-aimants des crayons, suivant les différents azimuts du vent.

Supposez, en face l'un de l'autre, 2 électro-aimants dont les armatures, munies d'un cliquet, puissent réagir en sens inverse sur une roue à rochet horizontale placée entre leurs pôles. Admettez que cette roue à rochet n'ait que 8 dents et porte un frotteur à piston, appuyant de haut en bas. On comprendra qu'au moyen de leviers coudés, réagissant d'une armature sur l'autre et sur des leviers d'encliquetage, chaque mouvement de l'armature de l'un des électro-aimants fera avancer la roue d'un huitième de sa circonférence, tandis que l'autre électro-aimant, réagissant après, la fera rétrograder d'autant de fois un huitième de sa circonférence qu'il y aura eu de mouvements de la part de son armature. De plus, si le frotteur à piston dont est armé la roue, est en rapport avec l'un des pôles d'une pile supplémentaire et rencontre, à chaque mouvement de cette roue, une petite plaque métallique communiquant avec un des électro-aimants indicateurs de l'appareil primitif, il arrivera que, suivant le mouvement de la roue à rochet

dans un sens ou dans l'autre, ce sera l'un ou l'autre des huit crayons qui deviendra actif. Par conséquent, en interposant les deux électro-aimants moteurs de la roue à rochet dans les deux circuits correspondants au commutateur de l'anémomètre, et orientant les deux appareils, c'est-à-dire la girouette et la roue à rochet du mécanisme récepteur, chaque changement de vent pourra être accusé par la circulation du courant dans tel ou tel électro-aimant de l'anémographe précédent. Tel est le mécanisme additionnel au moyen duquel on peut économiser huit fils conducteurs.

Avec ce système, on pourrait, par un mécanisme très-simple, mais dont les indications seraient peut-être moins sûres, éviter les huit électro-aimants de l'anémographe à onze fils, et réduire, par conséquent, leur nombre à trois seulement.

Il suffirait, pour cela, d'adapter à la roue à rochet du mécanisme additionnel dont je viens de parler, une poulie qui serait montée sur le même axe qu'elle. Cet axe pivoterait entre deux pointes d'acier, et sa poulie serait en correspondance avec une autre poulie du même diamètre, montée également sur un axe vertical. La distance des deux axes serait précisément égale au développement de la circonférence de ces poulies, et, au-dessous de ce système, tournerait le grand cylindre aux indications, qui serait construit de la même manière que pour l'anémographe à onze fils; seulement, la feuille de papier s'enroulant sur un second cylindre placé de côté, et un peu au-dessous du premier, formerait comme une nappe légèrement inclinée au-dessous de ce système de poulies.

Une courroie, portant trois petits cylindres verticaux, dans lesquels pourraient glisser jusqu'à une certaine limite des crayons, relierait les deux poulies; et, comme la distance des centres de ces poulies serait égale au dévelop-

pement de leur circonférence, chaque dent de la roue à rochet du mécanisme récepteur qui s'échapperait ferait prendre successivement aux crayons de la courroie une position déterminée qui serait un huitième de la tangente commune ou de la partie droite de la courroie. En prenant donc celle de ces deux tangentes qui se trouve au-dessus de la génératrice du cylindre aux indications, comme étant la ligne suivant laquelle doivent se faire ces indications, on pourrait juger de la nature du vent qui a régné par la *hauteur* de la trace au crayon laissée sur le cylindre, et apprécier sa durée par la longueur de la trace elle-même. De plus, comme la longueur totale de la courroie représente trois fois la longueur de la tangente commune, un crayon devra toujours succéder à l'autre dans le champ des indications, quel que soit le sens dans lequel s'accomplit le mouvement des poulies ou de la roue à rochet. La disposition inclinée de la feuille de papier est forcée par la nécessité dans laquelle on se trouve d'éviter les marques du crayon au moment de leur retour du côté opposé au champ de l'indication, et les soubresauts qui résulteraient d'une solution brusque de continuité. La figure ci-à côté, page 391, peut donner une idée de cet appareil, sauf qu'au lieu d'une seule roue à rochet il y en a deux.

Anémoscopes électriques de M. Th. Du Moncel. — Le prix considérable des anémographes électriques dont il vient d'être question, et plus encore leur volume, m'ont fait chercher depuis longtemps un instrument beaucoup plus portatif, qui fût en quelque sorte un diminutif de ceux que j'avais fait construire. D'ailleurs, pour une foule de personnes peu versées dans la science météorologique, l'annotation écrite des variations de direction et d'intensité du vent est superflue. Ce qu'en général on désire connaître, et cela comme pronostic du beau et du mauvais temps, c'est la direction et l'intensité du vent à un moment donné.

Or, il arrive souvent qu'on n'a pas de girouette devant les yeux, et, quand bien même on en aurait une, elle ne pourrait fournir aucun renseignement quand il fait nuit. C'est pourtant le soir que ces indications seraient souvent le plus utiles. Dans le but de satisfaire à ces exigences, on avait construit des girouettes à engrenages qui, par l'intermédiaire d'une longue tige de fer traversant le toit de la maison, donnaient leurs indications sur un plan vertical ou horizontal. Mais l'installation de semblables appareils, outre la grande dépense qu'elle entraînait, nécessitait un local tout particulier. Aussi leur usage n'a-t-il pu s'étendre, et nous sommes, la plupart du temps, obligés de nous priver de la plus importante des indications météorologiques pour le beau et le mauvais temps.

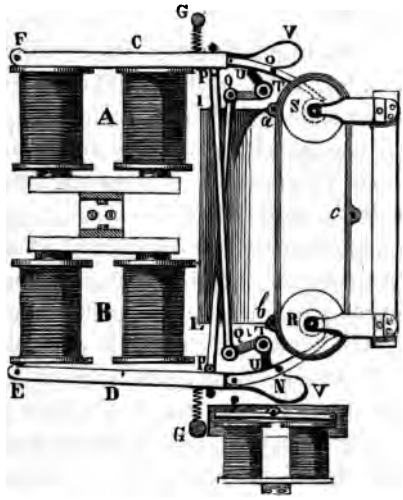


Fig. 6.

Mon anémoscope résout complétement la question : c'est un tout petit instrument qu'on peut suspendre partout où

l'on veut, comme un médaillon, et dont le prix rentre dans celui des baromètres, thermomètres, etc.

Il consiste, comme on le comprend aisément, dans deux instruments distincts : une girouette et un indicateur qui peuvent être simples ou composés, suivant qu'on désire avoir à la fois la direction et l'intensité du vent, ou sa direction seule. Dans le premier cas, l'indicateur se compose de deux petits cadrans argentés, sur chacun desquels se meut l'aiguille indicatrice. Dans le second cas, il n'y a qu'un seul cadran.

L'un des cadrans de l'appareil composé porte gravées les indications des seize vents dans leur position azimutale. L'autre cadran n'a que quatre indications; mais elles sont séparées l'une de l'autre par un angle de 45°, et se rapportent au *vent modéré*, au *vent fort*, au *vent très-fort*, et enfin à la *tempête*.

L'organe sensible qui fait agir les aiguilles indicatrices (lesquelles sont aimantées) est un petit électro-aimant droit, formé par une pointe de fer entourée de fil fin, qui se trouve enfoncée sur une planche au-dessous de chaque division du cadran, et dans l'étendue de la demi-circonférence seulement. L'un des bouts du fil de chacun de ces petits électro-aimants va à la girouette; l'autre aboutit à un bouton d'attache, qui est commun à tous les électro-aimants. D'après cela, on conçoit que, si la girouette porte un commutateur, et que ce commutateur transmette le courant dans l'un ou l'autre des fils des électro-aimants, suivant la direction du vent, ces électro-aimants, qui se trouvent tous avoir le même pôle d'un même côté, réagissent successivement sur le même pôle de l'aiguille aimantée, et lui font fournir les indications voulues sur toute la demi-circonférence où ils se trouvent échelonnés. Mais si, après être sortie de cette demi-circonférence, la girouette fait agir son commutateur de manière à renverser le courant, les électro-aimants

changent de pôles, et leurs réactions se manifestent sur le pôle opposé de l'aiguille indicatrice, qui se trouve alors à portée des premiers électro-aimants de la série. Ainsi, en n'employant que huit électro-aimants et huit fils, on peut avoir, par cette disposition, seize indications de vents. On pourrait même, en remplaçant les électro-aimants par des fils disposés galvanométriquement, réduire à quatre le nombre des fils et des organes sensibles pour ces seize indications : l'inconvénient qui existerait alors serait une oscillation trop longue de l'aiguille au moment de la permutation des vents. Il faudrait toutefois, dans ce cas, que l'aiguille fût rendue *astatique*, et qu'elle fût montée sur pointes. Dans l'autre système, au contraire, elle peut être montée sur pivot, comme les aiguilles d'inclinaison, ce qui est un avantage, puisqu'alors on peut suspendre l'appareil verticalement contre un mur.

Le cadran pour les indications de l'intensité du vent est construit exactement de la même manière, seulement le courant n'y est pas renversé.

Il me reste a décrire l'appareil qui fait agir ainsi les aiguilles, suivant l'influence du vent, par l'intermédiaire du courant voltaïque.

Il se compose d'une girouette montée sur un axe mobile, d'un commutateur circulaire à renversement de pôles, d'un anémomètre à plaque et d'un commutateur pour cet anémomètre.

Le commutateur à renversement de pôles est celui que nous avons décrit page 274 (1er vol.).

L'anémomètre à plaque consiste dans une plaque de zinc articulée sur l'axe de la girouette, au-dessus de la palette. Cette plaque porte au-dessus de son point d'articulation une petite tige en laiton terminée par un contre-poids, pour lui faire équilibre ; c'est à l'aide de ce petit contre-poids qu'on règle l'instrument. En outre de cette tige, la plaque

porte un petit ressort terminé par une lame de platine, et cette lame vient frotter constamment contre un petit arc de cercle en bois, sur lequel sont fixées quatre plaques de platine. Chacune de ces plaques correspond à un fil, et ces fils passent par l'intérieur du tube qui sert d'axe à la girouette, pour aboutir, dans l'appareil, à quatre viroles de cuivre fixées sur l'axe lui-même, par l'intermédiaire d'un tambour en bois. Quatre frotteurs fixes appuient sur ces viroles, et ces frotteurs correspondent aux électro-aimants de l'indicateur d'intensité du vent.

Le courant entre par la crapaudine sur laquelle pivote l'axe de la girouette. De là il passe à la plaque et à l'aiguille à ressort qu'elle porte, et comme les fils des quatre électro-aimants de l'indicateur sont en rapport direct avec la pile, le courant est fermé dans l'un ou l'autre de ces électro-aimants, suivant que l'aiguille appuie sur l'une ou sur l'autre des quatre plaques de platine de l'arc interrupteur.

Anémographe de M. Jules Salleron. — L'anémographe de M. Jules Salleron[1] n'est qu'un diminutif de mon grand anémographe. Toutefois, la disposition de l'anémomètre proprement dit présente quelques heureux perfectionnements sur lesquels nous croyons devoir insister. Ces perfectionnements sont, d'une part, la substitution de moulinets à la girouette, et, d'autre part, la substitution du tourniquet à tasses du Dr Robinson au moulinet de Woltmann pour l'enregistrement de la vitesse du vent. Au moyen de l'un de ces systèmes, les petites variations insignifiantes et brusques qui sont si fréquentes dans la direction du vent, et que j'ai corrigées dans mon système par l'appareil hydraulique décrit précédemment, se trouvent complétement neutralisées, et ne contribuent qu'à infléchir plus ou moins la résultante qui représente la direction du vent.

1. Construit en mars 1856

D'un autre côté, au moyen du tourniquet du Dr Robinson, les vitesses constatées sont réellement comparables, ce qui n'a pas toujours lieu dans les indications du moulinet de Woltmann.

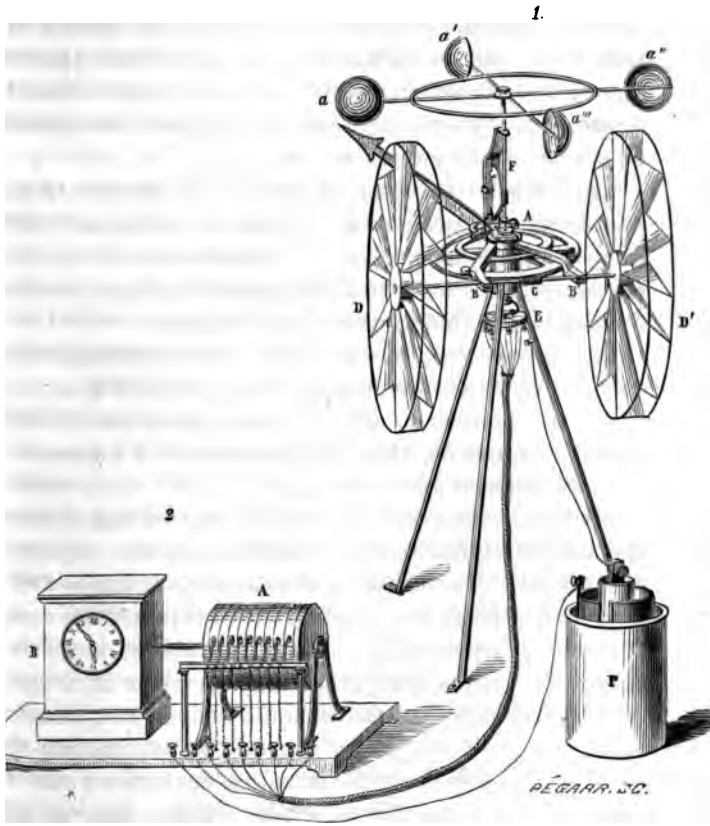


Fig. 7.

Voici du reste comment M. Salleron décrit son instrument :

« J'ai adopté, dit-il, dans la construction de cet instru-

ment, quelques dispositions peu connues encore en France et qui, employées déjà en Angleterre, y ont rendu de grands services.

« L'appareil figuré ci-dessus, page 325, se compose de deux parties bien distinctes :

« I. L'anémomètre proprement dit (fig. 7-1), qui doit être posé sur le toit ou sur une terrasse à découvert. (Dans la figure, on a supprimé, pour faciliter la démonstration, la cloche en zinc qui recouvre tout le mécanisme et le garantit de la pluie et des intempéries de l'air.)

« II. L'appareil enregistreur (fig. 7-2), qui doit inscrire sur une feuille de papier les indications de l'anémomètre. Un câble composé de dix fils de cuivre isolés dans de la gutta-percha relie ensemble les deux appareils qui peuvent être distants l'un de l'autre autant qu'il le faudra.

« I. *Anémomètre proprement dit.* — 1° Pour obtenir d'une manière précise la direction du vent, j'ai mis à profit une nouvelle disposition qui m'a été communiquée par M. Piazzi Smyth, le savant directeur de l'Observatoire d'Edimbourg.

« Voici en quoi elle consiste :

« Au centre du cercle A tourne un axe vertical. Cet axe entraîne avec lui deux supports horizontaux aux extrémités desquels sont deux collets B, B′ dans lesquels tourne librement une vis tangente C qui engrène avec le cercle A denté sur toute sa circonférence. Aux extrémités de la vis tangente, sont calées deux grandes roues à ailes D, D′ dont les palettes, suivant la direction des rayons, sont inclinées de 45 degrés sur le plan de la roue. Qu'on s'imagine ces deux roues, parallèles entre elles, placées dans un courant d'air ; le vent, en soufflant sur les palettes, fera tourner les roues ; les roues entraîneront la vis tangente C ; la vis tangente, engrenant avec le cercle A qui est immobile, fera tourner tout le système jusqu'à ce que les roues se soient placées dans une direction parallèle à celle du vent ;

direction qui, en effet, est la seule où le vent n'ait plus d'action sur les ailes, puisqu'alors il frappe sur le champ des palettes. Faisons changer la direction du vent, les roues se mettront à tourner de nouveau et viendront d'elles-mêmes se replacer parallèlement au courant d'air.

« Comme on le voit, ce système offre de grands avantages, puisqu'il peut, si les dimensions des roues sont suffisantes, enregistrer les moindres courants d'air, de même que les vents les plus violents, sans aucune oscillation ni mouvement contraire.

« La direction des roues se trouve enregistrée par le moyen de l'électricité, de la même manière à peu près que dans le premier anémomètre électrique de M. Du Moncel. L'axe vertical, qui tourne avec les ailes, entraîne une roulette frottant sur un cercle partagé en huit segments. Ces huit segments correspondent aux huit aires de vents principales; huit fils de cuivre isolés conduisent l'électricité dans l'enregistreur.

« Il importe de remarquer que bien que le cercle ne soit partagé qu'en huit parties, l'appareil n'en enregistre pas moins la direction dans les huit autres aires intermédiaires; parce que, quand la roulette se trouve toucher deux segments à la fois, l'électricité en passant dans deux fils imprime une trace particulière qui permet de reconnaître les points intermédiaires.

« 2° Pour mesurer la vitesse du vent, j'ai adopté le nouveau moulinet à ailes hémisphériques du Dr Robinson. Cet appareil se compose d'un axe vertical F qui porte quatre rayons horizontaux à l'extrémité desquels sont soudées quatre demi-sphères creuses a, a', a'', a'''. Chaque portion convexe d'une des sphères regarde la partie concave d'une autre. Quand ce moulinet se trouve exposé dans un courant d'air, le vent rencontre toujours deux demi-sphères convexes et deux autres concaves; comme il a plus d'action sur

les surfaces concaves que sur les surfaces convexes, il imprime à tout le système un mouvement de rotation.

« M. Robinson a démontré que le nombre des tours de ce moulinet est toujours proportionnel à la vitesse du vent; en d'autres termes, que le chemin parcouru par l'axe des sphères est toujours une fraction constante du chemin parcouru par le vent, quelle que soit sa vitesse. De plus, quand dans cet anémomètre les sphères ont un diamètre suffisant et sont fixées à l'extrémité de rayons assez longs pour que les frottements de l'axe soient une fraction très-petite de l'action du vent sur les sphères, le nombre 3 représente assez exactement le rapport qui existe entre le chemin parcouru par les ailes et celui parcouru par le vent.

« Ainsi, en multipliant par 3 la longueur de la circonférence du cercle parcouru par l'axe des demi-sphères, on trouve le chemin parcouru par le vent pour chaque tour du moulinet. Dans l'instrument que je décris, cette circonférence est de $1^m,333$, qui multiplié par 3, donne 4 mètres pour chaque tour des ailes.

« L'axe F du moulinet porte une vis tangente qui engrène sur une roue dentée de 250 dents, de sorte que chaque tour complet de la roue équivaut à 1 kilomètre. Un contact électrique fixé sur la roue et un petit ressort isolé qui vient le toucher à chaque révolution, envoient dans l'enregistreur le courant de la pile.

« II. *Appareil enregistreur* [1] (*fig.*7-2). — Il se compose essentiellement d'un cylindre de cuivre A, tournant sur son axe; une pendule B lui imprime un mouvement de rotation d'un tour complet en vingt-quatre heures; sur ce cylindre est enroulée une feuile de papier préparée au cyano-ferrure de potassium, suivant le procédé que M. Pouget-Maison-

1. Dans la notice que j'ai publiée dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences en mai 1852, j'indique le système d'enregistrement au moyen du papier préparé au cyano-ferrure de potassium. T. D. M.

neuve a présenté à l'Institut au mois de juillet dernier. Cette feuille est en outre divisée en vingt-quatre parties, qui représentent des heures et en lignes perpendiculaires correspondant aux huit vents principaux de la rose. Neuf ressorts frotteurs en acier appuient sur la surface du papier. Chacun de ces ressorts est en communication avec un des fils du câble qui descend de l'anémomètre; huit de ces fils communiquent aux huit segments de la direction du vent, le neuvième au moulinet des vitesses.

« Le cylindre de cuivre étant en communication avec un des pôles de la pile P, tandis que le second pôle est relié avec l'anémomètre, il arrive que le cyano-ferrure de potassium se trouve décomposé sous le style dans lequel passe le courant et imprime sur le papier une ligne de bleu de Prusse.

« Il arrive de même que le style des vitesses imprime des points bleus qui correspondent chacun à 1 kilomètre de chemin parcouru par le vent.

« Disons encore que quand la roulette de la direction se trouve toucher deux segments à la fois, les deux styles correspondants tracent chacun une ligne bleue qui représente évidemment les directions intermédiaires aux huit vents principaux.

« Comme ces lignes et ces points se trouvent tracés sur les lignes horaires, on en peut conclure les moments de la journée et le temps pendant lequel le vent a persévéré dans la même direction, ainsi que la vitesse avec laquelle il s'est mû. »

Anémographe électrique de M. Wheatstone.— Lors de son dernier voyage à Paris, mon illustre ami M. Wheatstone m'a exposé le principe d'un système d'anémographe électrique d'un genre tout à fait nouveau et très-ingénieux. Cet appareil n'ayant jamais été exécuté, je ne pourrais affirmer s'il est susceptible d'application; mais en le com-

binant, comme je vais l'indiquer, à mon système d'enregistrement anémographique, il aurait l'avantage d'être d'une grande simplicité et d'une exécution facile.

Qu'on suppose suspendue sous un toit de forme parabolique CBD, fig. 14, Pl. VIII, et à l'extrémité d'un fil métallique, une sphère creuse A; cette sphère pourra être poussée d'un côté ou de l'autre, suivant la direction du vent, et son écart de la verticale sera d'autant plus grand que l'intensité du vent sera plus considérable. Si le toit CBD présente une courbure convenable, le fil AB du pendule pourra, à chaque écart de la sphère A, se coller sur les parois internes de ce toit et y adhérer sur une étendue d'autant plus grande que l'écart de ce pendule aura été plus grand ou que le vent aura été plus fort.

Supposons donc que sous cette espèce de toit CBD soient appliqués cinq ou six cercles métalliques horizontaux *ab*, *cd*, *ef*, *gh*, etc., dont l'un *gh*, le plus rapproché du sommet du cône, sera divisé en huit ou seize parties égales orientées suivant les huit ou seize principaux azimuts de la rose des vents, il arrivera que, si une liaison électrique réunit ces cinq ou six cercles et ces huit ou seize parties de cercle à des organes électriques enregistreurs, un courant électrique pourra être fermé par le fil AB à travers l'un ou l'autre de ces organes, et même à travers plusieurs d'entre eux, et cette fermeture de courant sera faite sous l'influence du vent, puisque c'est lui qui aura poussé le fil contre ces cercles. Celui des organes électriques qui sera en rapport avec la partie du cercle *gh*, touchée par le fil AB, enregistrera donc la direction du vent, et ceux de ces mêmes organes (en rapport avec les autres cercles *ab*, *cd*, *ef* CD, etc.) qui posséderont le courant électrique correspondant indiqueront par leur nombre et leur position le degré d'intensité du vent.

Barométographe de M. Liais. — Depuis longtemps les

instruments météorologiques donnant des maxima et des minima ont été regardés comme fort importants et d'un emploi indispensable par les observateurs; aussi a-t-on cherché à en construire de différents systèmes. Tout le monde connaît les thermométrographes à branches recourbées et les thermomètres à déversement de M. Walferdin; mais ce qu'il importe le plus de connaître, quand on veut avoir des observations bien faites, c'est l'heure de ces maxima et minima, car cette indication facilite l'interpolation dans le cas où les observations horaires manquent, et comble la lacune que laisse l'absence d'observations pendant la nuit. On a bien imaginé des instruments à indications continues tels que ceux que nous avons décrits précédemment et ceux fondés sur les effets de la photographie employés à l'observatoire de Greenwich, mais ces appareils sont très-chers, très-compliqués, et nécessitent, dans le cas où l'on emploie les moyens photographiques, l'entretien d'une vive lumière. En ramenant le problème à la construction d'instruments à maxima et à minima, on fait disparaître la complication.

Le barométrographe proposé par M. Liais consiste dans un baromètre à siphon sur lequel réagit un double mouvement d'horlogerie dont nous allons voir à l'instant les fonctions. Le mercure qui remplit ce baromètre est, par l'intermédiaire d'un fil de platine *f*, fig. 15, Pl. VIII, en communication avec l'un des pôles d'une pile de Daniell faible, et l'autre pôle de cette même pile est en rapport avec deux fils de platine *abcd*, *ef*, qui plongent dans le mercure, mais qui se trouvent sollicités l'un, *ef*, à s'élever, l'autre, *abcd* à s'abaisser, par les mouvements d'horlogerie M, M′ dont nous avons parlé. Ces fils sont d'ailleurs maintenus dans une position fixe par des guides.

Deux électro-aimants A, A′ interposés dans chaque circuit encombrent à l'état normal les mouvements M et M′ :

l'un A, par l'effet de l'interruption du courant, l'autre A' par l'effet de la fermeture de ce même courant. Pour obtenir ce double résultat, il suffit, dans le premier cas, que l'armature de l'électro-aimant A étant abaissée, butte contre l'une des ailettes du mouvement M, et, dans le second, que l'armature de l'électro-aimant A' réagisse sur les ailettes du mouvement M', par l'intermédiaire d'une queue *g*. Des ressorts placés devant ces armatures provoquent la fermeture d'un courant à travers un appareil chronométrique, à chaque mouvement opéré par elles.

L'appareil chronométrique en rapport avec le barométrographe, consiste dans un double cadran d'horloge commandé par un mouvement d'horlogerie, et des deux côtés duquel se trouve répété l'appareil rhéotomique que nous avons decrit page 293 (1er vol.). Il est représenté fig. 8, Pl. V du même volume. Ce cadran double, fixé sur les joues de la roue ST, fait un tour sur lui-même en 12 heures, ainsi que l'aiguille HG qui se meut devant lui, et qui, par conséquent, le suit dans son mouvement, tant que l'électro-aimant M n'est pas mis en action. L'aiguille du second mécanisme rhéotomique, qui est placée de l'autre côté de la roue TS et qui reçoit son mouvement de l'axe SU, fait également un tour sur elle-même en 12 heures et peut être déclanchée comme l'aiguille GH, puisque les deux mécanismes rhéotomiques placés à gauche et à droite de la roue ST sont exactement semblables. Voici maintenant comment fonctionne cet appareil.

Quand le mercure du baromètre monte dans la branche BC, fig. 15, Pl. VIII, un courant électrique est fermé à travers l'électro-aimant A, et le mécanisme M est dégagé jusqu'à ce que la pointe de platine *ef* ait abandonné la surface du mercure; mais cette fermeture de courant à travers l'électro-aimant M entraîne la fermeture d'un autre courant à travers l'électro-aimant M, fig. 8, Pl. V (1er vol.). Celui-ci

ouvre la boîte d'engrenage Q, et le contre-poids P entraîne l'aiguille GH jusqu'au repère J. Alors le courant se trouvant interrompu par le rhéotome à travers l'électro-aimant M, la boîte d'engrenage Q se trouve immédiatement fermée, et l'aiguille GH recommence à suivre de nouveau le cadran mobile ST, mais la position de cette aiguille sur ce cadran indique précisément l'heure à laquelle s'est fait le déclanchage, et, par conséquent, l'ascension du mercure dans la branche B du baromètre.

Pour une nouvelle ascension du mercure, il y aura donc un nouveau déclanchage; par suite un changement de l'heure indiquée par l'aiguille GH, et ces fonctions électro-mécaniques se renouvelleront jusqu'à ce que le mercure ait atteint son maximum de hauteur. Or, comme l'aiguille indicatrice GH reste toujours à l'heure correspondante à la dernière réaction électrique, elle accuse par là l'heure du maximum barométrique dans la branche BC du baromètre, et, par conséquent, l'heure du minimum diurne de la pression barométrique. La position de la pointe de platine ainsi soulevée donne la hauteur exacte de ce minimum.

Le mécanisme indiquant les maxima de la pression barométrique fonctionnant exactement de la même manière que celui que nous venons de décrire, je n'en parlerai pas davantage. Je dirai seulement que, tel que nous venons d'en indiquer la construction, cet appareil n'est pas exactement celui de M. Liais; j'ai dû le modifier considérablement pour le rendre plus simple et d'une exécution facile. On peut voir dans ma première édition la description du système primitif.

Pour que les maxima et minima barométriques absolus répondent toujours aux positions extrêmes de la colonne mercurielle, il faut que la température reste sensiblement constante dans l'intervalle de deux observations. On ob-

tient ce résultat, dit M. Liais, en renfermant l'instrument dans une série d'enveloppes peu conductrices.

En appliquant une disposition analogue au thermomètre, on obtient un thermomètre à maxima, donnant l'heure du maximum de la température. Pour le thermomètre à minima, il y a une disposition à prendre pour que le courant ne passe pas d'une manière continue dans la colonne, ce qui fausserait les indications par l'élévation de la température à laquelle il donnerait lieu; ce n'est pas alors dans le tube thermométrique que plonge la pointe de platine : elle est supportée par un flotteur adapté au thermomètre comme celui de l'appareil transmetteur de mon régulateur solaire, que nous avons décrit page 257. Cette pointe se recourbe pour plonger dans un tube plein de mercure, dont l'un des mouvements d'horlogerie M'M', règle la descente comme nous l'avons indiqué, et qui est en communication avec la pile. Les autres dispositions sont semblables à celles du thermomètre à maxima. On a donc ainsi un thermomètre à minima à mercure, ce qu'on avait cherché en vain depuis longtemps à obtenir, et de plus, l'heure de l'observation est marquée.

Quant au psychrométrographe, comme les vrais maxima et minima, ne dépendent ni du minimum, ni du maximum de différence des indications des deux thermomètres, M. Liais emploie un hygromètre à cheveu auxiliaire pour indiquer l'instant des maxima et minima que ce dernier instrument, inexact d'ailleurs, quant à la valeur absolue de l'humidité, indique cependant avec exactitude, par le minimum et le maximum de l'allongement du cheveu. Le cheveu supporte une pointe métallique plongeant dans une capsule pleine de mercure, et une disposition analogue aux précédentes, indique les instants du maximum et du minimum. De plus, chaque fois qu'un courant

s'établit, des index marquent la hauteur des deux thermomètres composant le psychromètre, et leur dernière position, qui est celle que l'on observe, marque le maximum et le minimum d'humidité.

Application de l'électricité à la lecture des indications barométriques. — On sait que dans les baromètres à cuvette, le niveau du mercure étant sans cesse variable dans la cuvette, par suite de l'ascension ou de l'abaissement de la colonne barométrique, le point de repère de la graduation de la tige se trouve sans cesse déplacé, et par conséquent les hauteurs indiquées par l'échelle se trouvent inexactes. Dans le baromètre Fortin, on a suppléé à ce défaut par une vis adaptée sous la cuvette, que l'on serre ou que l'on desserre de manière à ramener, toujours avant l'observation, le niveau du mercure dans cette cuvette à une hauteur fixe. Cette hauteur fixe correspond à l'extrémité d'une pointe qui est le repère de la graduation.

Pour ramener le niveau du mercure précisément à la hauteur du repère, on manœuvre comme je l'ai déjà dit la vis de la cuvette, jusqu'à ce que la pointe d'ivoire touche son image refléchie dans le mercure; mais, outre que cette opération est difficile à bien faire, il arrive qu'au bout d'un certain temps, la surface du mercure du baromètre se couvre de poussière, et il est alors mathématiquement impossible de s'assurer du moment précis où le mercure est arrivé à la ligne de niveau. Depuis que je fais des observations météorologiques, cette opération a toujours été pour moi la plus longue et la plus ennuyeuse. J'ai donc cherché à éviter cet inconvénient, en faisant venir à mon aide l'action électro-magnétique, et ce moyen m'a parfaitement réussi comme on va pouvoir en juger.

Au lieu de faire en ivoire la pointe servant de repère, je la fais en platine, et au lieu de la fixer sur la monture même du baromètre, je lui fais traverser une rondelle

d'ivoire incrustée dans cette garniture. Un bouton d'attache met en rapport cette pointe avec le pôle positif d'une pile de Daniell, tandis que le pôle négatif communique avec le mercure par un fil de platine plongeant toujours dans le mercure de la cuvette. Sur l'un des deux fils qui relient ainsi le baromètre à la pile, j'interpose un interrupteur de courant et un appareil électrique susceptible d'indiquer la présence des courants, un galvanomètre, par exemple, ou mieux, une sonnerie électrique de M. Mirand. Au moment de l'expérience, je tourne l'interrupteur; alors de deux choses l'une, ou le mercure sera au-dessus du repère par suite de l'abaissement de la colonne barométrique, ou il sera au-dessous par l'effet contraire. Dans le premier cas, la sonnerie se mettra à tinter, et je serai prévenu par là que je devrai desserrer la vis de la cuvette, ce que je ferai jusqu'à ce que la sonnerie ait cessé son mouvement. Dans le second cas, je devrai, au contraire, serrer la vis jusqu'à ce que la sonnerie ait commencé à tinter. On voit que par ce système, il n'est même pas besoin de regarder ce que l'on fait et que l'opération se conduit mécaniquement.

Dans les instruments à l'aide desquels les observations sont inscrites d'une manière continue par l'impression photographique de la lumière, le système précédent, combiné mécaniquement pour remplir une fonction automatique, devient de la plus haute importance, car c'est par ce moyen seulement, que ce genre d'observations peut être rigoureux et comparable aux observations ordinaires. Voici donc par quel mécanisme on pourra obtenir que le niveau du mercure soit toujours ramené au point d'affleurement du repère.

Qu'on suppose la tête de la cuvette munie d'une roue d'un grand diamètre et commandée par deux engrenages distincts auxquels seront appliqués deux de mes mécanismes

à remontoir; on comprendra facilement que le courant circulant à travers l'un ou l'autre de ces mécanismes pourra faire tourner la vis dans l'un ou l'autre sens, et par conséquent, la serrer ou la desserrer. Par conséquent, si le baromètre porte une pointe de platine comme nous l'avons vu précédemment en guise de pointe de repère, on pourra obtenir par l'intermédiaire d'un relais, que l'absence de continuité dans le courant fermé par le mercure du baromètre ait action sur le mécanisme à remontoir commandant le serrage de vis, et que la fermeture du courant mette en activité le mécanisme du desserrage. Le niveau du mercure, ne pouvant donc ni remonter au-dessus de la pointe ni s'abaisser, devra nécessairement rester toujours le même.

M. Masson a appliqué le principe électrique du baromètre précédent, à la mesure exacte (à un centième de millimètre près), de la hauteur de la colonne barométrique. Pour cela il soude à l'extrémité du tube barométrique un fil de platine qui occupe une partie de la chambre vide du baromètre, et se trouve au-dessus des plus grandes hauteurs barométriques que l'on ait à observer. La pointe de ce fil de platine qui doit être rigide, est destinée à servir de point de repère. Une autre pointe du même métal est adaptée au-dessus de la cuvette du baromètre comme nous l'avons indiqué précédemment, mais elle se trouve soudée à la partie inférieure d'une vis micrométrique de 1 millimètre de hauteur de pas, et dont la partie supérieure est terminée par un disque divisé en 100 parties. Ce disque, comme celui des sphéromètres, se meut devant une échelle graduée gravée sur le tube de verre du baromètre, de sorte qu'on peut apprécier facilement à un centième de millimètre près la hauteur dont on élève ou dont on abaisse la vis micrométrique. Un circuit électrique établi à travers cette vis, le mercure du baromètre, la pointe de platine du

haut du tube et une sonnerie électrique, permet d'apprécier l'instant précis où il est complété. Voici maintenant comment on se sert de cet instrument, représenté fig. 16, Pl. VIII.

Au moment de l'observation, on commence par faire plonger le fil de platine de la vis micrométrique dans le mercure de la cuvette, puis on serre la vis de cette cuvette, de manière à élever le mercure dans le tube barométrique jusqu'à ce qu'il ait atteint la pointe de platine servant de repère, ce dont on est prévenu par le tintement de la sonnerie; quand cette opération est faite, on détourne la vis micrométrique et on l'élève le long de l'échelle graduée jusqu'à ce que la sonnerie électrique qui a été mise en marche s'arrête. On sait alors que la pointe de platine qui termine cette vis vient de quitter la surface du mercure de la cuvette, et l'on possède ainsi un point de repère qui peut indiquer exactement la hauteur de la colonne barométrique. En effet, la graduation de ce baromètre, au lieu d'être faite à partir du niveau du mercure de la cuvette comme dans les baromètres Fortin, peut commencer à partir de la pointe de platine servant de repère, ou même d'un point plus éloigné, pourvu qu'il soit fixe. Si donc on place ce point de départ de la graduation à une distance de la pointe de platine égale à la hauteur de la vis micrométrique, il arrivera forcément que la position du micromètre sur l'échelle graduée, indiquera exactement la hauteur de la colonne barométrique.

Maréographe électrique. — Depuis longtemps on a installé dans certains ports, des instruments enregistreurs appelés maréographes, destinés à tracer aux différents instants du jour la hauteur des marées, qui varie, comme on le sait, non-seulement avec le mouvement de la lune, mais encore suivant les localités. Toutefois les indications de ces instruments ne pouvant être faites qu'à l'intérieur des ports, ne

représentent pas exactement les différentes phases de croissance et de décroissance des marées, à cause d'une foule de circonstances accidentelles qui interviennent. Par la même raison, les différentes hauteurs des vagues qui sont si intéressantes à connaître, non-seulement au point de vue des travaux d'endiguement, mais encore sous celui de la physique du globe, ne peuvent être également enregistrées. Ces considérations m'ont fait chercher à établir un système de maréographe électrique dans lequel les indications puissent être fournies à distance, et par conséquent venir de la pleine mer. Voici comment j'ai disposé cet instrument, qui peut être du reste utilisé à beaucoup d'autres usages comme nous le verrons par la suite.

Appareil transmetteur. — L'appareil transmetteur de cet appareil, est adapté à la partie supérieure d'un long mât implanté solidement sur un rocher ou un banc de sable, à une distance suffisante de la côte pour que les indications que l'on cherche à obtenir ne soient pas masquées. Il se compose 1° d'un mécanisme mesureur; 2° de deux systèmes de boîtes mobiles sur des crémaillères placées latéralement le long du mât; 3° de deux séries de plaques d'environ 10 centimètres de longueur appliquées les unes à la suite des autres, sur toute la partie du mât qui n'est jamais immergée et qui doit toujours dépasser les plus hautes mers, d'environ 30 pieds.

Le mécanisme mesureur est placé à la sommité du mât sur une espèce de chapiteau que nous avons représenté en A, fig. 6, Pl. X, il est constitué essentiellement par une roue à rochet R, fig. 7, de 250 à 300 dents, sur laquelle réagit un électro-aimant M, et qui porte normalement à son plan deux frotteurs à piston A et B.

Au-dessous de cette roue et disposées circulairement, suivant les traces laissées par les frotteurs sur la planche support, se trouvent deux séries concentriques de pointes

métalliques affleurant la surface du bois, et constituant interrupteur. Ces pointes représentent les extrémités de tiges métalliques qui traversent la planche, et qui sont en rapport avec différentes parties de l'appareil. La moitié de l'une de ces deux séries, constituée par les pointes *a*, *a*, *a*, etc., est en rapport avec la rangée de gauche des plaques fixées sur le mât, l'autre moitié est en communication avec la rangée de droite. Il y a donc dans ce premier cercle autant de pointes qu'il y a de plaques sur les deux côtés du mât. Par conséquent, si la hauteur du mât au-dessus des plus hautes mers est de 10 mètres, et si les plaques qui sont fixées dessus, ont 10 centimètres de hauteur, ces pointes seront au nombre de 200. En les séparant par un intervalle de 1 millimètre et leur donnant à elles-mêmes 1 millimètre de diamètre, le cercle qu'elles constitueront aura donc 40 centimètres, c'est-à-dire 20 centimètres de diamètre.

Les pointes qui composent la deuxième série de parties conductrices de l'interrupteur, et sur lesquelles doit agir le frotteur le plus rapproché de l'axe de la roue à rochet sont seulement au nombre de quatre; elles aboutissent, les unes *b* et *b'*, à deux boutons d'attache en rapport avec le circuit de la ligne, les autres avec les boîtes mobiles.

Les autres mécanismes représentés sur la figure, sont les cliquets d'impulsion de retient et d'arrêt destinés à réagir sur le rochet, à chaque fermeture de courant opérée à travers l'électro-aimant M. Le cliquet d'arrêt C D a une disposition particulière qu'il me paraît utile de décrire ici en raison de la facilité avec laquelle elle peut être adaptée à tous les systèmes d'encliquetages. Il consiste dans un bras de levier recourbé CD, articulé en D sous l'armature de l'électro-aimant, et pris entre deux goupilles E, G implantées sur une tête de vis qu'on a aplatie. Un bec C recourbé vient se placer contre le rochet, après que la dent qui doit échapper a passé, et comme le levier CD se trouve

alors appuyé contre la goupille G, il n'y a pas à craindre que l'impulsion du rochet fasse céder l'encliquetage. La goupille E sert à relever le bec C quand l'armature est repoussée.

Le système des boîtes mobiles est représenté fig. 6, Pl. X. Ces boîtes sont au nombre de deux, mais disposées en sens inverse, à cause des deux crémaillères dont les dents sont taillées en sens contraire. Elles sont gouvernées par une potence semi-circulaire T qui termine une tige TU portée par un flotteur XY. Cette tige est guidée par deux ou trois anneaux glissant sur une autre tige de fer qui occupe environ les deux tiers de la hauteur du mât. Il résulte de cette disposition que chaque élévation du flotteur XY a pour effet l'élévation de la boîte C, et chaque abaissement de ce même flotteur, l'abaissement de la boîte D. Mais les boîtes, une fois soulevées ou abaissées, ne peuvent plus descendre ni remonter sans une réaction secondaire, car elles se trouvent accrochées sur les crémaillères au point le plus élevé de leur course.

Si l'on considère maintenant que les vagues de la mer, en passant sous le flotteur XY, peuvent l'élever de toute leur hauteur et l'abaisser de toute leur profondeur, on comprendra facilement que les boîtes C et D pourront indiquer cette hauteur et cette profondeur dans un moment donné, et que la moyenne de l'espace compris entre ces deux boîtes donnera la hauteur de la marée. Pour résoudre le problème du maréographe électrique, il ne s'agit donc que de faire mesurer électriquement ces différentes hauteurs, de les enregistrer à terre sur un appareil chronographique, et de dégager les boîtes, une fois l'observation finie, pour les mettre en position de fournir de nouvelles indications.

Les plaques interrompues qui garnissent le mât réalisent, avec l'appareil que nous avons décrit précédemment et un

frotteur à piston H, H′ placé sur chacune des boîtes C et D, le premier problème; car cette disposition du système a pour effet de condenser, dans un cercle très-restreint et facilement abordable par les mécanismes électriques, des hauteurs qui peuvent être très-considérables. En effet, supposons qu'un courant partant de terre se trouve dirigé sur l'un des frotteurs H des boîtes mobiles, et qu'il retourne à terre par le rochet R, fig. 7, et l'appareil récepteur; supposons encore qu'un autre courant (issu d'une seconde pile) traverse l'électro-aimant M et soit interrompu à terre à chaque seconde par l'horloge de l'appareil récepteur, on comprendra que la roue à rochet R, en faisant circuler successivement le frotteur A sur les pointes de l'interrupteur, finira par mettre ce frotteur en contact métallique avec celui H de la boîte C, fig. 6. Ce contact aura lieu quand ces deux frotteurs toucheront en même temps celle des plaques du mât et celle des pointes de l'interrupteur qui communiquent ensemble. En ce moment, le courant électrique traversant ces frotteurs sera fermé et pourra réagir sur le chronographe de l'appareil récepteur, en lui faisant enregistrer le moment précis de cette fermeture de courant. Comme le mouvement qui commande le chronographe est celui même qui met en action l'interrupteur réagissant sur le rochet R, les indications de temps sur ce chronographe pourront exprimer des longueurs, et dès lors le problème de l'enregistrement des mesures à distance se trouvera résolu.

Quant au dégagement des boîtes C et D, après chaque observation, il s'obtient en introduisant dans ces boîtes, qui sont très-petites, un électro-aimant muni d'une armature de détente, comme on le voit fig. 8, Pl. X. Ces électro-aimants sont reliés, d'une part, au frotteur H, H′ des deux boîtes, de l'autre, aux pointes b'', b''' de l'interrupteur du mesureur électrique, fig. 7. Cette dernière liaison,

ainsi que celle des frotteurs H et H′ eux-mêmes, se fait à l'aide de deux fils extensibles et traînants. Quand le courant ne circule pas dans ces électro-aimants, ce qui a lieu tout le temps que le mesureur fonctionne, les armatures maintiennent les boîtes accrochées sur les crémaillères; mais aussitôt que le courant se trouve fermé à travers ces organes électriques, les armatures sont attirées et les boîtes sont entraînées, l'une par son propre poids, l'autre par un contre-poids adapté à une poulie de renvoi. Cet effet se manifeste lorsque après chaque demi-révolution des frotteurs A et B du mesureur, fig. 7, le dernier B rencontre les pointes *b″*, *b‴*. De cette manière, les appareils peuvent enregistrer de nouvelles hauteurs.

Appareil récepteur. — Nous avons dit que l'appareil récepteur du maréographe électrique pouvait consister dans un simple chronographe dans lequel la vitesse de rotation du cylindre enregistrant serait reliée d'une manière intime à la marche de l'interrupteur du courant électrique agissant sur le mesureur, et de plus aux indications du temps. Un pareil chronographe pourrait être facilement réalisé mécaniquement, et l'électricité n'aurait à intervenir que pour mettre en action les électro-aimants enregistreurs; mais pour obtenir avec ce système des indications suffisamment étendues, il faudrait un moteur un peu puissant et une certaine vitesse de rotation de la part du chronographe, deux conditions difficiles à réaliser dans un mécanisme soumis au mouvement d'une horloge. J'ai donc cherché à résoudre le problème électriquement, et voici comment j'ai disposé l'appareil récepteur de mon maréographe.

Sur une table ABCD, fig. 9, Pl. X, est fixée une Comtoise M. Cette Comtoise, par un engrenage GH et une crémaillère *e f*, communique son mouvement à un chariot *a b c d* mobile sur un petit chemin de fer dont les rails sont en EF, E′F′. Les rouages de cet engrenage sont tellement

combinés que le chariot *abcd* avance de 30 centimètres en 12 heures.

Latéralement au chemin de fer, et placé comme un débarcadère, est disposé un support en bois G H I J, sur lequel sont adaptés les appareils enregistreurs. Ceux-ci consistent dans deux systèmes de remontoirs électriques analogues à ceux que j'ai décrits page 323 (1er vol.), et commandés chacun par deux électro-aimants N N, N′ N′, P P, P′ P′. Sous l'influence des électro-aimants N N, N′ N′ et des cliquets portés par leurs armatures K et K′, les crémaillères L, L′ se trouvent remontées d'une dent par seconde; au contraire, sous l'influence des électro-aimants P P, P′ P′, dont les armatures repoussent les cliquets R, R′, S, S′, ces crémaillères se trouvent entraînées par des contre-poids T, T′ jusqu'à leur point de repère.

Les électro-aimants N, N′ fonctionnent sous l'influence d'un interrupteur de Foucault (voir p. 251) adapté au balancier de la Comtoise, et qui sert en même temps à mettre en jeu l'appareil mesureur du transmetteur; mais avant d'arriver à ces électro-aimants, le courant est obligé de passer par un rhéotome mis en rapport de mouvement avec la roue d'échappement de l'horloge, et qui est destiné à renvoyer alternativement le courant d'un électro-aimant N dans l'autre N′, après une série de fermetures de courant égale à la moitié du nombre de dents de la roue à rochet du mesureur électrique. Ce rhéotome a encore une autre fonction que nous étudierons plus tard et qui se rapporte au jeu des électro-aimants P et P′. Il est représenté fig. 10. Il se compose d'une roue à dents droites engrenant avec le pignon de la roue d'échappement, et porte deux frotteurs à piston C, D d'une disposition particulière. Ces frotteurs appuient sur deux circonférences métalliques E, F coupées par la moitié et incrustées dans une petite planchette d'ivoire. L'une des moitiés de la circonférence E est en

rapport avec l'électro-aimant N; l'autre moitié est en rapport avec l'électro-aimant N', et le courant, au sortir de ce rhéotome, est obligé de passer par l'interrupteur. On comprend d'après cela comment l'appareil fonctionne.

Quand la roue du mesureur électrique commence sa révolution, le frotteur C du rhéotome commence à toucher la demi-circonférence E; alors le courant se trouve fermé, à chaque seconde par l'interrupteur, à travers l'électro-aimant N et l'électro-aimant du mesureur; la crémaillère en rapport avec le premier et la roue à rochet du second marchent donc synchroniquement, de sorte que le crayon L que porte la crémaillère s'avance successivement sur le papier dont est recouvert le chariot *abcd*. Tant que le courant envoyé par le mesureur n'a pas agi, ce crayon continue sa marche, mais aussitôt que ce courant est fermé, l'électro-aimant P désencliquète la crémaillère, et celle-ci revient au repère. Pour que cette action de désencliquetage puisse se maintenir jusqu'à ce que la roue à rochet du mesureur ait accompli sa demi-révolution, un rhéotome de la nature de celui que j'ai décrit page 290 (1er vol.) a dû être adapté à l'électro-aimant P; il se compose d'un buttoir et d'une lame de ressort mis en rapport avec une dérivation du courant de la pile qui a agi sur l'électro-aimant P. Mais comme l'action de ce rhéotome doit finir quand la roue du mesureur a accompli sa demi-révolution, cette dérivation du courant doit passer par le rhéotome de la roue d'échappement de l'horloge. C'est à cet effet qu'a été introduit dans ce rhéotome le deuxième frotteur D et la circonférence F (fig. 10.)

Quand la roue à rochet du mesureur électrique a terminé sa demi-révolution, le rhéotome de l'horloge a coupé le courant, non-seulement à travers l'électro-aimant N, mais encore à travers l'électro-aimant P, ce qui permet aux cliquets de revenir dans leur position normale. Mais

bientôt le courant qui a réagi sur l'électro-aimant N se trouve reporté sur l'électro-aimant N′, par l'effet du contact du frotteur C du rhéotome de l'horloge avec la seconde moitié de la circonférence E; alors la roue à rochet du mesureur commence la seconde moitié de sa révolution. Sous l'influence de l'interrupteur, la crémaillère L′ avance donc successivement et synchroniquement avec le rochet du mesureur, jusqu'à ce qu'un nouveau courant envoyé par ce mesureur provoque son déclanchement. Alors se reproduisent les mêmes réactions que nous avons étudiées précédemment.

D'après la manière dont fonctionnent ces appareils, on peut comprendre aisément que la longueur des traits laissés par les crémaillères représentent exactement les hauteurs qu'on veut mesurer, à partir d'une base de repère qui représente l'extrémité du mât; et comme ces indications se font en même temps que le chariot avance, elles ne se superposent pas et peuvent fournir, par leur réunion, des courbes dont on peut suivre, heure par heure, minute par minute, les inflexions.

Dans l'exécution de cet instrument, plusieurs précautions ont dû être prises pour en assurer le bon fonctionnement. Ainsi, les crémaillères, au lieu d'être guidées par des coulisseaux, ont été ajustées à rainure sur des galets, comme on le voit fig. 11, Pl. X. Ce système d'ajustement est excellent, en ce qu'il supprime tous les frottements dans la marche de la crémaillère. D'un autre côté, des cliquets d'arrêt V, V′ analogues à celui que j'ai décrit pour le mesureur, ont été ajoutés au système d'encliquetage. Enfin la roue d'engrenage H qui communique le mouvement au chariot *a b c d* a dû être rendue mobile sur son axe pour qu'on pût la désengrener et ramener le chariot à sa position initiale. Un ressort en rapport avec une sonnerie électrique a été également adapté devant ce chariot, au moment

de la terminaison de sa course, pour avertir l'observateur de venir relever les indications fournies et repousser la feuille de papier sur le chariot.

Les frotteurs à piston du rhéotome de l'horloge ont dû aussi être modifiés pour ne pas présenter un frottement trop considérable. Au lieu d'avoir leur piston sollicité par un ressort-boudin, qui est toujours assez dur et dont on ne peut régler la tension, ces frotteurs laissent passer ce piston d'outre en outre, et ce sont des lames de ressorts repliées en col de cygne qui appuient dessus.

Pour rétablir la marche synchronique des crémaillères du rhéotome de l'horloge et de la roue à rochet du mesureur, en cas de dérangement, j'ai fait intervenir un second déclanchement de la part des électro-aimants P et P′, après chaque demi-révolution de la roue à rochet du mesureur. C'est à cet effet qu'ont été adaptées les pointes b'' b''' de l'interrupteur de ce mesureur. Quand le déclanchement final de chaque crémaillère ne s'effectue pas au moment même du passage du frotteur C du rhéotome de l'horloge sur l'intervalle de séparation des deux moitiés de la circonférence E, c'est qu'il y a discordance dans la marche des appareils, et alors il faut couper immédiatement le courant pour attendre que le rhéotome se soit remis d'accord avec la roue à rochet du mesureur. Au moyen d'un fil spécial et d'un électro-aimant, on pourrait faire opérer automatiquement ce règlement, mais il est plus simple d'établir entre les solutions de continuité de la circonférence E du rhéotome et les électro-aimants de détente, une liaison électrique réagissant sur un petit relais disjoncteur et rhéotomique.

La marche des deux courants dans ces appareils est facile à saisir. Sur la figure, les traits pointillés indiquent les circuits parcourus par le courant d'une des deux piles que nous appellerons A; l'autre, en lignes pleines, représente les circuits en rapport avec la deuxième pile B.

Le courant de la pile A qui doit faire marcher le mesureur électrique entre dans l'appareil récepteur par le bouton *r*. Il va de là à l'interrupteur de l'horloge et en ressort par le bouton *q*; de là il va au bouton *q* de l'appareil transmetteur par un fil de gutta-percha plongeant dans la mer; il sort de cet appareil pour aller en mer par la plaque Z, et revenir à la pile par la plaque Z'.

Le second courant peut passer à travers huit circuits. Le premier de ces circuits comprend les communications métalliques en rapport avec l'électro-aimant N; le courant y entre par le bouton *y*; de là il traverse l'électro-aimant et en ressort par un fil qui va au rhéotome de l'horloge. Du rhéotome, il regagne l'interrupteur par le métal de l'horloge elle-même, et aboutit au bouton *s* qui communique avec le deuxième pôle de la pile.

Le second circuit est en rapport avec l'électro-aimant N'. Le courant y entre toujours par le bouton *y* et en ressort par le bouton *s*; la seule différence qui existe entre les deux circuits, c'est que l'un passe par l'une des moitiés de la circonférence E du rhéotome de l'horloge, tandis que l'autre passe par l'autre moitié.

Le troisième et le quatrième circuit sont en rapport avec les électro-aimants P et P' et les boîtes mobiles du transmetteur. Ils sont tous les deux reliés au bouton *x* auquel viennent communiquer les deux électro-aimants, et se terminent sur l'appareil récepteur aux boutons *z* et *w*. C'est à ces boutons que s'attachent les deux fils recouverts de gutta-percha qui vont aboutir aux fils extensibles des frotteurs des boîtes mobiles. Ces deux circuits sont ensuite complétés par le mesureur électrique et la mer.

Les 5e et 6e circuits sont constitués par un fil spécial partant de la pile et aboutissant au bouton *x'*; le courant passe alors par les fils extensibles des boîtes, les électro-aimants de ces boîtes, l'interrupteur du mesureur électrique et la mer.

Enfin les septième et huitième circuits correspondent aux ressorts rhéotomiques des électro-aimants P et P′, et aux deux moitiés de la circonférence F du rhéotome de l'horloge.

J'ai insisté longuement sur cet appareil auquel on peut du reste donner le nom de *mesureur électrique à distance*; car son application comme maréographe est peut-être la moins importante de toutes celles auxquelles on peut le faire servir, et nous aurons occasion plus tard de rappeler cette description.

Magnétomètre électrique de M. Weber. — On sait que les observations du magnétisme terrestre, grâce aux bases de mesures posées par l'illustre Gauss, de Gœtingue, et la mise en pratique de ces bases au moyen du magnétomètre, sont arrivées de la condition de simples comparaisons ou rapports à l'état de mesures absolues, et qu'elles ont acquis un degré d'exactitude qui diffère à peine de la précision des observations astronomiques. Mais le système de mesures, fondé sur ces bases, et aujourd'hui presque partout adopté, comprend seulement la mesure immédiate des *éléments horizontaux* du magnétisme terrestre. Les principes développés par Gauss établissent, il est vrai, que ces éléments horizontaux forment en eux-mêmes un ensemble d'observations suffisant à la détermination du magnétisme terrestre et, que, partant, les observations de l'inclinaison ne sont pas absolument nécessaires. Mais n'est-il pas évident qu'il serait incomparablement plus rationnel de combler cette lacune en arrivant enfin à observer aussi directement la composante verticale ou l'inclinaison?

C'était chose presque impossible avec les instruments employés jusqu'ici, parce que, d'une part, les déviations étaient influencées par le poids de l'aiguille aimantée, sans qu'on pût éliminer rigoureusement cette influence perturbatrice et que, de l'autre, on avait à subir forcément des

frottements qui devenaient un obstacle invincible à la réalisation des observations très-délicates sur lesquelles repose l'exactitude des procédés magnétométriques. M. Weber est enfin parvenu à trouver une disposition au moyen de laquelle l'action électrique, aussi bien des composantes verticales que des composantes horizontales du magnétisme terrestre, peut être parfaitement mesurée, même avec le seul magnétomètre unifilaire.

Son appareil consiste essentiellement en un appareil électrique dans lequel la force magnétique de la terre est employée à produire, par *induction*, des courants électriques et même des courants si forts qu'ils suffisent à donner des signaux. C'est tantôt la composante verticale, tantôt la composante horizontale qui sert à produire le courant d'induction proportionnel à leurs intensités, et l'on évalue ces intensités en observant les déviations qu'elles impriment à l'aiguille du magnétomètre. Voici, du reste, comment est disposé ce magnétomètre d'induction ou électrique :

Les deux organes les plus essentiels de cet instrument, sont un multiplicateur très-sensible et une hélice d'induction, formés chacun d'un fil de cuivre replié un grand nombre de fois sur lui-même. Quoique unis l'un à l'autre, ces organes sont placés pourtant à une distance suffisamment grande pour que leur influence sur l'aiguille du magnétomètre, installée dans l'intervalle qui les sépare, puisse être négligée relativement à l'action du magnétisme terrestre. L'hélice d'induction est mobile dans deux sens rectangulaires, c'est-à-dire que son axe de rotation peut être tour à tour vertical ou horizontal et parallèle au méridien magnétique. Dans ces deux positions, elle peut, par un mouvement énergique qui lui est imprimé, parcourir un arc de 180°, et réagir sur le multiplicateur, en y créant un courant d'induction proportionnel à l'intensité de la composante magnétique qui agit sur elle. Si donc le mouve-

ment brusque se communique à cette hélice quand son axe de rotation est dans la position horizontale, c'est la composante verticale qui agit sur le magnétomètre; quand, au contraire, le mouvement est donné au moment où l'axe de rotation est vertical, c'est la composante horizontale qui manifeste son effet.

ENREGISTREURS ET APPAREILS ASTRONOMIQUES.

Enregistreur des observations astronomiques. — La facilité que donnent les chronographes électriques, de pouvoir indiquer l'instant précis où a lieu une fermeture de courant, a pu être utilisée d'une manière très-avantageuse dans les observations astronomiques pour l'indication du passage des étoiles au méridien. Un appareil de ce genre est installé à l'observatoire de Greenwich; où il a fourni depuis deux ans les plus heureux résultats.

En raison des distances infinies qui nous séparent des astres, les instruments astronomiques doivent avoir une perfection et une exactitude toute particulière, pour qu'on puisse préciser d'une manière suffisamment approximative leur position. Aussi les chronographes que nous avons étudiés, quelque parfaits qu'ils pussent être, ne pouvaient convenir à des observations si précises. En effet, ceux dans lesquels l'uniformité de mouvement est fournie par des volants, ne sont pas reliés aux indications du temps, et d'ailleurs cette uniformité de mouvement pendant une durée un peu longue est plus que contestable. D'un autre côté, les chronographes dont le mouvement est réglé par un échappement et un pendule, laissent le mouvement suspendu pendant un temps appréciable. Il a donc fallu avoir recours à une autre combinaison mécanique, et le pendule conique seul a pu résoudre complétement la question. J'aurais peut-être dû parler de ce système de trans-

formateur de mouvement dans mon premier volume, car il peut être souvent d'un grand secours dans les applications de l'électricité; mais comme il n'a pas de relation directe avec les organes électriques, j'ai pensé qu'il serait plus à sa place dans le présent chapitre. Quoi qu'il en soit, voici en quoi il consiste.

Qu'on imagine à portée du chronographe, une forte suspension *Cardan*, fig. 17, pl. VIII, composée comme on le sait, de deux cercles concentriques AB, CD pivotant selon deux plans rectangulaires l'un à l'autre. On comprendra que si, près du pivot B du premier cercle AB, est fixé un pendule rigide EF d'une masse considérable, ce pendule mis en mouvement suivant la ligne EF, fera osciller le système des deux cercles AB, CD de G en H. Si maintenant un second pendule rigide C d'une masse un peu moindre que le premier est fixé sur le cercle CD perpendiculairement à sa surface, il subira forcément l'effet de l'oscillation de ce cercle, et tendra à osciller de G en H. Mais par la manière même dont est fixé le cercle CD, il se trouve aux points extrêmes de cette oscillation à l'état d'équilibre instable, puisqu'un rien peut le faire incliner à gauche ou à droite de la ligne GH. Dans le cas où il déviera au moment de son oscillation rétrograde, il fera donc incliner le cercle CD de H en I, ou de I en H, d'où il résultera pour lui un mouvement circulaire qui pourra être régularisé au moyen d'une tige KL, fig. 18, pivotant autour d'un axe vertical passant par le point O. Telle est la disposition du pendule conique dont on peut entretenir le mouvement d'une manière continue, et en rapport avec les divisions du temps par l'intermédiaire d'une très-forte horloge et d'un échappement X, réagissant sur le pendule EF.

On comprendra maintenant que si le bras KL relie la tige du pendule C avec une roue MM, dont l'axe correspond à la verticale passant par le point O, le mouvement

de cette roue ainsi régularisé par le pendule pourra être transmis à un système de rouages NPQ qui le communiquera ensuite à un cylindre chronographique T.

Le système chronographique adopté pour l'appareil de Greenwich, consiste dans un petit chariot U portant deux électro-aimants *a* et *b*, et mû par une vis sans fin *c d*, commandée par l'engrenage NPQ. Les armatures de ces électro-aimants portent des crayons ou des becs à encre, qui pour chaque fermeture opérée du courant, viennent appuyer contre le cylindre T revêtu d'une feuille de papier, et y déposent un point noir. L'un de ces électro-aimants *a* est en rapport avec un interrupteur mis en fonction par l'horloge et fermant le courant toutes les secondes; l'autre électro-aimant *b*, est en rapport avec un petit interrupteur placé sur la lunette d'observation, ou communique par des fils extensibles avec un appareil portatif du même genre que l'observateur peut porter avec lui en tel ou tel point de l'observatoire qui lui convient. Au moyen de l'électro-aimant *a*, on obtient donc sur la feuille de papier placée sur le cylindre T, une série de points séparés par un intervalle qui représente une seconde de temps, et au moyen de l'électro-aimant *b* on a la possibilité de faire enregistrer telle ou telle fermeture du courant que l'on opère. Comme le chariot avance graduellement, les deux séries de points décrivent une hélice et ne se superposent pas. Voici maintenant comment on fait usage de cet instrument.

Au moment de l'observation, on engrène la roue R qui commande la vis sans fin avec la roue S, et par le mouvement même produit par cet engrenage, le circuit se trouve complété à travers l'interrupteur de l'horloge. La série des secondes commence donc a être enregistrée sur le cylindre T. Alors l'observateur regarde dans la lunette méridienne, et à chaque passage d'une étoile devant le réticule de la lunette, il appuie sur son interrupteur. Les

points qui se trouvent marqués sur le cylindre représentent donc la position respective des étoiles qui ont passé, et par la place que ces points occupent sur le papier par rapport aux secondes qui sont pointées, on peut apprécier exactement cette position.

Par une combinaison particulière de ces points, on peut même indiquer quelles sont les étoiles qui ont passé. Il suffit d'attribuer à chaque groupe ou constellation un nombre déterminé de points. Alors au moment du passage de chaque étoile de cette constellation, on appuie 2, 3, 4, 5, 6, etc., fois sur l'interrupteur; mais c'est seulement le premier point qui donne la position de l'étoile.

Méthode pour faire un catalogue d'étoiles rapidement au moyen des chronographes et micromètrographes électriques. — Pour former rapidement un catalogue d'étoiles, M. Liais propose l'emploi d'une lunette fixe, située à peu près dans le méridien et que l'on relève chaque jour d'un champ. Un réticule à fils obliques, ou un réticule à fils parallèles avec un micromètre pour les déclinaisons, suffit à déterminer les différences d'ascension droite, et de déclinaison de tous les astres qui passent dans le champ. La situation absolue de l'instrument est alors déterminée par des observations faites aux instruments méridiens de cinq ou six des étoiles qui ont passé dans le champ de la lunette fixe dans chacune de ses positions. De là, on peut déduire les positions absolues de toutes les étoiles qui ont passé dans le champ de cette lunette. Si l'on emploie un réticule à fils obliques, un simple chronographe électrique suffit pour avoir les différences d'ascension droite et de déclinaison de presque tout ce qui passe dans le champ, ce qu'on ne pourrait faire sans chronographe, faute de temps. Si l'on veut se servir d'un micromètre, il doit être muni de plusieurs fils pour qu'on ne soit pas obligé de faire mouvoir un fil dans toute l'étendue du champ, ce qui ferait

perdre du temps. De plus, un instrument spécial imaginé par l'auteur, fait qu'en pressant d'avance avec le pied une pédale, quand l'astre passe au fil méridien, la situation du micromètre est enregistrée électriquement avec l'heure du passage et par le même courant. Si l'on ne presse pas la pédale, l'heure du passage seule est enregistrée. Chaque soir la lunette étant fixe, son objectif peut sortir de la pièce où est l'observateur. Cette pièce peut être alors fermée et chauffée sans inconvénient pour les observations. L'observateur doit être muni d'un aide pour enregistrer les grandeurs, le numéros du fil du micromètre et les autres notes. Toutefois par un changement de pédale, le numéro du fil du micromètre pourrait être enregistré électriquement.

Appareil pour déterminer la trajectoire des bolides. — « Il ne suffit pas toujours, dit M. Liais, de fixer sur le ciel, les points d'apparition et de disparition d'un bolide et d'évaluer le temps qu'il a été visible pour pouvoir le calculer. Il faut de plus, remarquer les variations de son mouvement angulaire, afin d'avoir une base pour la mesure de la résistance qu'il éprouvait de la part de l'air. Sans doute, cette observation est souvent très-difficile, mais les grands progrès que l'on a faits dans la photographie instantanée, permettent non-seulement d'évaluer ces variations, mais même de les mesurer. En effet, si l'on a deux daguerréotypes voisins, disposés de manière à pouvoir être ouverts simultanément en une fraction de seconde; si, dans l'un de ces daguerréotypes, la plaque est fixe, et si dans l'autre, elle est animée dans son plan d'un mouvement de rotation régulier et connu autour de son centre, il est clair qu'un bolide passant dans le champ de ces daguerréotypes, tracera sur les deux plaques des lignes différentes, dont la comparaison permettra aisément de mesurer le temps que le bolide a employé pour parcourir telle portion de la trajectoire, et, par conséquent, de connaître la vitesse angu-

laire à divers instants. De plus, la plaque fixe ayant été orientée avec soin, on pourra déduire de la direction de la trace laissée sur elle par le météore, la position d'un plan mené du centre optique de l'objectif de la trajectoire apparente du bolide. Avec un seul daguerréotype, on n'embrasserait qu'une petite portion du ciel, mais en en employant plusieurs, pointés *fixement* dans diverses directions, on pourrait embrasser une grande partie du ciel autour du zénith. Si l'on avait ainsi une série de daguerréotypes à *deux* stations différentes convenablement éloignées, si tous ces daguerréotypes pouvaient être ouverts en une fraction de seconde au moyen d'un courant électrique, qu'un observateur établirait par une légère pression du doigt sur un ressort, lorsqu'il verrait un bolide, condition mécanique facile à réaliser de bien des manières, il est clair que l'on aurait ainsi tous les éléments nécessaires pour calculer complétement les bolides qui passeraient dans la région atmosphérique, comprise à la fois dans le champ des daguerréotypes des *deux* stations. Cette région pourrait d'ailleurs être très-vaste, en n'éloignant pas trop les stations, et en employant plusieurs daguerréotypes à chacune d'elles.

« Il serait utile d'établir une sonnerie qui fonctionnerait lorsque les daguerréotypes viendraient à s'ouvrir, afin de prévenir à chaque station les personnes chargées de surveiller les instruments et de remplacer les plaques.

« L'instantanéité de l'apparition des bolides, le peu de durée de leur visibilité ne permettront jamais de mesurer, à l'aide d'instruments ordinaires, tous les éléments nécessaires pour les calculer. Il n'existera jamais d'autre moyen de substituer les mesures aux évaluations, qu'en leur faisant dessiner à eux-mêmes leur trajectoire à l'aide de la photographie, et dessiner même, pour ainsi dire, leur durée par la comparaison des images sur des plaques fixes et sur

des plaques ou des bandes de papier, animées de mouvements connus quelconques.

Application de l'électricité à l'éclairage des divisions et des repères des instruments astronomiques. — A l'observatoire Radcliffe, à Oxford, il existe un héliomètre dans lequel les divisions des échelles sont éclairées par la lumière émanée d'un fil de platine rougi par le courant d'une pile électrique. On a essayé d'employer le même moyen pour éclairer les fils du réticule des lunettes astronomiques, mais il n'a que médiocrement réussi, en raison de l'allongement et de l'inflexion de ces fils par l'effet de la chaleur.

APPLICATION DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE A LA MÉTÉOROLOGIE ET A L'ASTRONOMIE.

Au sujet d'un projet formé par le gouvernement de relier dans un même réseau électrique les chefs-lieux de tous les départements, M. Faye faisait, il y a cinq ans, à l'Académie des sciences, les réflexions suivantes :

« Indépendamment du parti qu'il sera possible d'en tirer pour les études météorologiques, l'exécution de ce réseau pourra être d'une immense utilité pour la détermination, non-seulement des longitudes, mais encore des latitudes astronomiques de tous les chefs-lieux des départements. En les comparant aux coordonnées géodésiques déjà connues, on pourra mettre en relief les irrégularités locales dont la surface du sphéroïde terrestre peut être affectée sur notre sol. Nos procédés actuels sont si parfaits qu'un observateur exercé peut promettre, sans trop s'aventurer, de poursuivre les centres ou les lignes de perturbations locales qui auront été indiqués par cette première opération, en procédant, s'il le faut, de 3 mètres en 3 mètres. C'est aux géologues de nous dire s'il y a quelque intérêt à rapprocher ces observations de leurs cartes géologiques, de leurs cercles de comparaison, et à chercher ainsi des

traces perdues dans l'épaisseur de la croute terrestre. Les moyens d'observations qui manquaient autrefois existent aujourd'hui. Par exemple, une des coordonnées de la verticale peut être déterminée en chaque point, dans l'espace d'une seule nuit, avec la précision qu'on admire dans les mesures micrométriques d'étoiles doubles. C'est ainsi que la longitude, si souvent douteuse, si souvent affectée d'erreurs inextricables, peut en être délivrée par une simple combinaison des procédés photographiques avec ceux de la télégraphie actuelle. Ici, l'artifice consiste à supprimer l'observateur; ailleurs, il consistera à réduire l'intervention de l'observateur au point où l'expérience nous enseigne qu'elle devient irréprochable. Ai-je besoin de dire ce qu'une telle entreprise ajouterait de valeur à nos vastes triangulations, sans ajouter notablement aux dépenses qu'elles ont déjà coûté au pays? Ceux qui ont suivi la transformation qui s'est accomplie de nos jours dans la géodésie savent tout ce que l'exécution du projet dont je parle pourrait donner de valeur aux travaux déjà faits, à des travaux que l'on ne recommencera plus nulle part sur le globe, si ce n'est peut-être dans un intérêt purement scientifique. »

Application de la télégraphie électrique à la détermination de la longitude des différents lieux. — Depuis longtemps, en Amérique, on s'est servi des nombreux réseaux électriques qui relient entre elles les principales villes de ce pays pour la détermination exacte de leur longitude. Cet exemple a été imité en Belgique et en Angleterre, pour les villes de Greenwich, d'Edimbourg, de Bruxelles, et l'année dernière, grâce à l'heureuse initiative de M. Leverrier, la différence de longitude entre Paris et Londres a été constatée. Cette année encore M. Leverrier vient de faire entreprendre de nouvelles expériences, en employant une méthode nouvelle d'observation qui paraît supérieure à toutes

celles employées jusqu'ici. Nous en parlerons bientôt. Le vœu de M. Faye, on le voit, commence à recevoir sa réalisation.

Il est facile de comprendre la fonction du télégraphe électrique dans ce genre d'application. La longitude d'un lieu par rapport à un autre est donnée par la différence de l'heure du passage du soleil ou d'un astre fixe, au méridien de ces deux points du globe. Pour l'obtenir on se sert ordinairement d'un chronomètre ou montre marine que l'on règle sur le temps *vrai* du lieu que l'on quitte et que l'on compare ensuite au temps vrai du lieu où l'on observe. Mais on comprend facilement que quelque parfaits que soient ces chronomètres, ils ne le sont jamais assez pour donner une indication *rigoureusement exacte*. Il n'en est plus de même si une liaison électrique réunit les deux points dont on veut estimer la longitude réciproque. En effet, la transmission du fluide électrique pouvant être considérée comme instantanée, le moment du passage du soleil ou d'une étoile déterminée au méridien de l'un de ces deux points, peut être indiqué instantanément à l'autre point, et l'observateur de ce point peut alors calculer, par le temps écoulé entre le passage signalé et celui qu'il va observer, la longitude cherchée.

En Amérique, les observations ont été faites entre les villes de Washington, New-York et Philadelphie. Voici comment on a procédé :

« Après avoir déterminé notre temps local, écrit M. Loomis à M. Sabine, par des observations astronomiques, nous n'avons plus eu besoin que d'un signal qu'on pût saisir simultanément aux trois localités. Ce signal nous a été fourni par un aimant, à la manière ordinaire des communications télégraphiques. Notre plan d'opération a été le suivant: à dix heures du soir, lorsque le service ordinaire de la compagnie a été terminé, nos trois observatoires ont été mis

en communication l'un avec l'autre, et après que cette communication eut duré un temps suffisant pour avoir la certitude que tout était en bon ordre, New-York a commencé à donner les signaux. Au commencement d'une minute à mon horloge, je touchai la clef de mon registre et on a entendu simultanément un coup à New-York, à Philadelphie et à Washington. Les trois observateurs ont noté le temps, chacun à son horloge. Au bout de dix secondes, j'ai répété un semblable signal et on a noté les temps; après dix autres secondes, j'ai renouvelé le signal, et ainsi de suite jusqu'à vingt fois. Après avoir attendu une minute, Philadelphie a répété la même série de signaux et on a de même noté les temps. Nous avons attendu encore une minute et Washington a répété les mêmes signaux. Nous avons donc obtenu ainsi soixante comparaisons de nos horloges qui nous donnèrent la différence de nos longitudes avec une exactitude aussi grande que celle qui a été mise dans la détermination du temps local. »

Dans les observations entre Greenwich et Bruxelles, on a employé une méthode analogue, mais on y a ajouté celle de l'observation sidérale. Car, dit M. Airy, pour mettre parfaitement en évidence la différence de la longitude, il est non-seulement nécessaire de comparer les deux horloges des passages, au moyen des signaux électriques, mais encore d'établir le rapport du temps donné par chaque horloge au temps sidéral de la localité par le moyen des observations du passage des étoiles au méridien. Prenant en considération la perfection des comparaisons électriques des horloges, les astronomes ont admis, comme un principe fondamental, que les signaux ne peuvent être regardés comme valables pour la longitude, qu'autant que le passage des étoiles au méridien a été observé aux deux stations un instant très-court avant ou après la comparaison.

Nouvelle détermination de la différence de longitude

entre les observatoires de Paris et de Greenwich. — « La détermination de la différence de longitude, dit M. Leverrier, entre deux lieux du globe repose, comme on le sait, sur celle de la différence du temps que l'on compte dans les deux stations à un moment donné ; celui, par exemple, où l'on observe un même signe en ces deux stations. Lorsqu'on fait ainsi usage de signaux, l'opération se divise en deux parties distinctes, celle de la détermination des pendules et celle de l'observation des signaux. Disons, dès à présent, que, dans la circonstance présente, on a fait usage de signaux transmis par le télégraphe électrique.

« La détermination de l'heure et l'observation des signaux sont sujettes à des erreurs de plus d'un genre, et qui pourraient vicier le résultat que l'on se propose d'obtenir, si l'on ne prenait soin de les éliminer ou de les apprécier de manière à pouvoir en tenir compte. Nous allons rappeler en peu de mots en quoi consistent ces erreurs, et indiquer comment on a conduit l'opération pour se mettre à l'abri de leur influence. Le soin avec lequel ont été éliminées toutes les erreurs constantes est sans doute ce qui distingue la détermination actuelle de celles qui l'ont précédée.

« La détermination de l'heure d'un lieu par l'observation des passages des étoiles à la lunette méridienne présente une grave difficulté provenant des erreurs personnelles des observateurs, erreurs qui peuvent produire des discordances s'élevant jusqu'à une seconde de temps entre les déterminations de l'heure d'un même lieu faites par divers astronomes. Les déterminations de longitude dans lesquelles on ne s'est point mis à l'abri de cette cause d'incertitude doivent nécessairement inspirer fort peu de confiance.

« On peut échapper à cet inconvénient en calculant la longitude au moyen de deux séries d'opérations dans lesquelles on fait l'échange des observateurs.

« S'il était nécessaire que l'on connût l'instant précis auquel

un signal électrique est donné par l'une des stations, on pourrait éprouver quelques difficultés à le fixer avec précision. On évite cet embarras en donnant le signal à un instant quelconque et le faisant observer de la même manière dans les deux stations. Dans le cas où il existerait une différence entre les deux observateurs relativement à la constatation de l'heure des signaux, cette différence disparaîtrait du résultat final par l'échange des observateurs.

« Un retard peut aussi être dû à la durée nécessaire pour la transmission du courant électrique, et on a plus de raison de le craindre lorsque le courant doit traverser une grande étendue d'eau. On échappe à l'incertitude qui en pourrait résulter, en faisant partir les signaux successivement de l'une et de l'autre station. Cette disposition permet en outre de mesurer le retard en question. On pourra même, pour plus de sécurité, varier convenablement le sens physique du courant.

« Enfin on eût pu craindre quelque erreur provenant tant de l'inertie des appareils que du changement d'intensité du courant. Après avoir reconnu par des expériences directes que les appareils qui vont être décrits n'étaient pas sujets à cet inconvénient, on a jugé inutile de les échanger entre les stations.

« Ces explications générales étant données, on comprendra mieux le sens de la convention intervenue entre les deux observatoires, et dont nous allons rappeler quelques-unes des principales dispositions.

« L'appareil à signaux, observé dans chaque station, était une simple aiguille recevant l'action directe d'un courant électrique. On s'attachait à observer le commencement sensible du mouvement de l'aiguille.

« Chaque observatoire disposait d'une pile électrique composée d'un grand nombre d'éléments. On pouvait à volonté renverser le sens du courant qu'on envoyait à l'autre obser-

vatoire ; ce courant, d'ailleurs, traversait toujours les appareils des deux stations.

« L'appareil dont on se servait pour donner les signaux était placé dans une autre salle que l'aiguille, afin que l'astronome qui observait celle-ci ne pût ni voir ni entendre la personne qui donnait les signaux.

« Ces signaux ont été donnés par groupes dont le nombre et l'instant approché étaient indiqués télégraphiquement quelques moments à l'avance, cette disposition ayant pour but de ménager l'attention de l'observateur et de lui épargner une fatigue préjudiciable à l'exactitude des observations. Chaque groupe comprenait dix signaux environ, donnés de 10 à 15 secondes d'intervalle.

« Les observations des signaux ont duré une heure, chaque jour. L'heure a été divisée en quatre quarts d'heure : dans le premier et le troisième quart d'heure, les signaux étaient donnés par l'une des stations ; dans le deuxième et le quatrième, par l'autre station. On avait le soin, dans chaque station, de renverser le sens du courant dans la seconde série de signaux.

« Pour faciliter l'élimination des erreurs personnelles par l'échange des observateurs, ces observateurs ont été chargés d'observer les passages des étoiles et les signes électriques.

« L'état des pendules a été, dans les deux stations, fixé précisément à l'aide des mêmes données astronomiques ; ou bien l'on n'a fait usage que des mêmes étoiles, auquel cas leurs positions absolues n'ont aucune importance ; ou bien, si l'on a fait usage d'étoiles dont quelques-unes pouvaient n'avoir point été observées dans les deux stations, on ne l'a fait qu'à l'égard des étoiles dites *fondamentales*, et dont les positions relatives sont connues avec la dernière précision. Il a été convenu qu'on calculerait séparément les résultats fournis par les deux méthodes.

« Tout en estimant que, dans le cas où le temps se prêterait convenablement aux observations astronomiques, il suffirait peut-être de continuer les signaux pendant trois jours pour chacune des deux positions relatives des observateurs, il avait été convenu que les observations seraient continuées chaque nuit jusqu'à ce que l'un et l'autre observatoire eussent fait connaître qu'ils regardaient l'opération comme terminée.

« En conséquence de ces conventions, M. Dunkin, assistant de l'observatoire de Greenwich, s'étant rendu à Paris, et M. Faye, astronome de l'observatoire de Paris, s'étant rendu à Greenwich, les observations de la première série ont pu commencer dans la soirée du 26 mai dernier. Elles n'ont pas été favorisées par l'état de l'atmosphère : les nuages ont souvent entravé les observations astronomiques, et la tempête a quelquefois empêché la transmission des signaux électriques. On a dû en conséquence prolonger la première série d'observations jusqu'au 4 juin.

« Si l'on s'astreint à n'employer que les jours d'observation dans lesquels un nombre suffisant d'étoiles communes ont été observées dans les deux stations, quatre jours seulement peuvent être mis à profit, pendant lesquels il a été échangé 563 signaux télégraphiques utilement observés.

Si, au contraire, on fait usage de toutes les étoiles fondamentales indifféremment, on a cinq jours d'observation et 708 signaux utiles. La moitié de ces signaux est partie de Greenwich, l'autre de Paris.

« Ajoutons qu'on peut, pour détruire le retard que subit la transmission du courant électrique, faire usage de signaux transmis les jours où il n'a pas été fait d'observations astronomiques. Ces signaux sont au nombre de 252.

« Les observations de la deuxième série ont commencé

le 12 juin et ont été faites à Greenwich par M. Dunkin, et à Paris par M. Faye. Contrariées, comme les premières, par l'état de l'atmosphère, elles ont été continuées jusqu'au 24 juin. Sept jours d'observation ont pu être utilisés, soit qu'on n'emploie que les étoiles communes, soit qu'on ait recours à toutes les fondamentales indistinctement. 995 signaux ont été utilement échangés.

« L'ensemble de toutes ces données ayant été discuté séparément à Greenwich et à Paris, on est arrivé aux conclusions suivantes, dans lesquelles nous distinguerons par les lettres A et B les résultats obtenus : 1° en faisant usage de toutes les étoiles fondamentales indistinctement ; 2° en employant seulement les étoiles observées le même jour dans les deux observatoires.

RÉSULTATS OBTENUS A GREENWICH.

DATE 1854	NOMBRE des SIGNAUX.	DIFFÉRENCE DE LONGITUDE. A	B
1re série. Mai 27	146	9m 20s,40	9m 20s,38
29	146	20 ,59	20 ,56
31	147	20 ,54	20 ,56
Juin 3	145	20 ,45	»
4	124	20 ,49	20, 53
	Moyennes :	9m 20s,49	9m 20s,51
2e série. Juin 12	132	9m 20s,77	9m 20s,76
13	132	20 ,79	20 ,77
17	140	20 ,77	20 ,75
18	137	20 ,69	20 ,73
20	148	20 ,74	20 ,75
22	155	20 ,79	20 ,74
24	151	20 ,84	20 ,84
	Moyennes :	9m 20s,77	9m 20s,76
	Longitude conclue	9m 20s,63	9m 20s,63

RÉSULTATS OBTENUS A PARIS.

DATE 1854		NOMBRE des SIGNAUX.	DIFFÉRENCE DE LONGITUDE. A	B
1re série.	Mai 27	145	9m 20s,38	9m 20s,36
	29	145	20 ,58	20 ,55
	31	147	20 ,54	20 ,56
	Juin 3	145	20 ,44	»
	4	125	20 ,49	20 ,53
		Moyennes :	9m 20s,49	9m 20s,50
2e série.	Juin 12	130	9m 20s,79	9m 20s,76
	13	133	20 ,78	20 ,76
	17	140	20 ,77	20 ,75
	18	137	20 ,69	20 ,73
	20	150	20 ,75	20 ,76
	22	154	20 ,80	20 ,74
	24	151	20 ,84	20 ,84
		Moyennes :	9m 20s,77	9m 20s,76
		Longitude conclue	9m 20s,63	9m 20s,63

« Si l'on veut rapporter la position de l'observatoire de Greenwich à l'ancienne méridienne de France, il faudra retrancher du résultat précédent la quantité 0s,12, qui représente la distance entre cette méridienne et la situation actuelle de la lunette méridienne de l'observatoire de Paris. On aura ainsi :

Différence de longitude entre l'observatoire de Greenwich et la méridienne de France, 9m20s,51.

« Le temps de la transmission du courant électrique a été trouvé en moyenne de 0s,086 à Greenwich et de 0s,079 à Paris. Nous ne ferons sur ces nombres que deux remarques:

1° La différence de longitude 9m 20s,63 ainsi trouvée entre Paris et Greenwich diffère de près de 1s de temps de celle déduite de l'observation de signaux de feu en 1825.

2° La durée 0s,08 du temps nécessaire à la transmission

lu courant électrique n'est sans doute si considérable qu'à cause de la disposition du câble au travers duquel le courant traverse la mer. »

Nouveau système pour la détermination des longitudes adopté à l'Observatoire de Paris. — « Dans une Note qui m'était commune avec l'astronome royal d'Angleterre, M. Airy, dit M. Leverrier, j'ai rendu compte en 1854 des opérations que nous avions entreprises pour la détermination de la différence de nos observatoires en longitude. La méthode consistait essentiellement dans l'emploi de signaux de télégraphie électrique pour la comparaison des états simultanés des pendules des deux observatoires. Les signaux eux-mêmes résultaient des déviations de deux aiguilles galvaniques, placées dans les deux stations et mises en mouvement par l'action d'un même courant.

« Les signaux étaient observés à la manière ordinaire, l'astronome notant par estime le temps de la pendule où ils apparaissaient. Comme on ne peut compter généralement sur une exactitude supérieure à *deux dixièmes* de seconde de temps dans l'appréciation de l'instant d'un signal ainsi observé, il y avait nécessité, pour arriver à une haute précision, de faire usage d'un grand nombre de signaux : ce qui n'offrait aucune difficulté, puisqu'on n'avait besoin pour chaque signal que d'un temps très-court. Il parut toutefois à M. Faye qu'il eût été plus avantageux de recourir à la méthode des coïncidences pour la comparaison des pendules sidérales des deux stations. Sauf les détails d'exécution, M. Faye aurait voulu qu'on fît battre une série de signaux simultanés dans les deux stations au moyen d'une pendule de temps moyen, et qu'on observât, dans chaque station, l'époque de la coïncidence de ces signaux avec la pendule sidérale. L'état relatif des deux pendules en aurait été conclu avantageusement, parce qu'on observe la coïncidence de deux battements avec une précision bien supé-

rieure à celle avec laquelle on estime directement une fraction de seconde de temps.

« Dès cette époque, je m'occupai d'un projet d'enrégistrement des observations des passages au méridien au moyen d'un chronographe électrique. Or, tout en reconnaissant que la détermination de l'état des horloges par la méthode des coïncidences constituerait un progrès dans la détermination des longitudes, il me parut que la question serait encore plus simplifiée si l'on pouvait se passer complétement de toute détermination de l'état relatif des pendules; et c'est à quoi il paraissait possible de parvenir en enregistrant sur le même chronographe les observations faites dans les deux stations. En principe, cette méthode ne peut souffrir aucune objection, puisque l'enregistrement se fait par l'intermédiaire d'un fil électrique dont la longueur plus ou moins grande ne peut être un obstacle. Mais dans la pratique il se rencontrait de grandes difficultés qui n'ont été surmontées qu'après de nombreuses tentatives. Tel est le motif pour lequel j'ai différé de répondre aux pressantes invitations qui me sont parvenues de divers côtés pour la détermination des différences de longitude, et notamment par MM. Quételet, de Bruxelles, et de Littrow, de Vienne. J'avais le désir de voir ces déterminations faites correctement au moyen de la nouvelle méthode. C'est ce qui sera désormais possible, ainsi que le montreront les résultats dont j'ai à rendre compte à l'Académie.

« Qu'il me soit permis, avant d'entrer dans le détail des instruments, de rappeler les grands travaux exécutés en France pour la détermination géodésique du méridien de Paris et du parallèle moyen. Malgré les soins avec lesquels les opérations ont été exécutées, on a dû se demander s'il ne pouvait pas se rencontrer quelques erreurs notables dans les longitudes, lorsqu'on a vu que la différence admise entre deux stations aussi importantes que Paris et Green-

wich avait été évidemment jusqu'ici en erreur de près d'*une* seconde de temps.

« En discutant ces questions avec le directeur du Dépôt de la Guerre, M. le colonel Blondel, il nous parut qu'il était indispensable de reprendre la détermination des longitudes françaises avec les ressources nouvelles dont on disposait, et que pour l'accomplissement de cette opération, les ressources du Dépôt de la Guerre et de l'Observatoire pourraient être très-avantageusement combinées. En conséquence, nous adressâmes, au mois de juin 1855, à MM. les Ministres de la Guerre et de l'Instruction publique, un Rapport concluant à ce que l'autorisation de reprendre en commun la détermination des longitudes des stations principales du méridien de Paris et du parallèle moyen nous fût accordée. Ces propositions furent immédiatement approuvées dans les premiers jours de juillet par M. le Maréchal Vaillant et par M. Fortoul.

« D'un autre côté, nous recevions l'adhésion de l'Administration des lignes télégraphiques qui, sous la direction de M. Vougy, donne à toutes les entreprises scientifiques un concours empressé et bienveillant.

« Enfin le Dépôt de la Guerre chargeait M. le commandant Rozet, assisté de M. le capitaine Versigny, de procéder en son nom aux opérations.

« L'organisation du travail, conformément au mode d'expérimentation que j'exposerai plus loin, réclamait trois appareils distincts les uns des autres, savoir : 1° un instrument des passages à la station de Paris; 2° un second instrument des passages à la station située à l'autre extrémité de la ligne; 3° un chronographe et une pendule sidérale à la station de Paris.

« Comme il était facile de prévoir que l'enregistrement des observations sur un même chronographe débarrassant

l'observateur de l'estime du temps, et supprimant en outre la comparaison des pendules, donnerait au résultat une valeur qui ne dépendrait que de l'exactitude des instruments méridiens, il importait d'attribuer à ces instruments la précision la plus rigoureuse. C'est ce qui a été fait pour la lunette de l'observatoire de Paris par de nouvelles améliorations apportées à la fixité de la ligne de collimation, par un changement dans le mode d'observation de la polaire, et surtout en donnant à l'instrument une grande stabilité par la construction de coussinets fixes. M. Villarceau, qui est chargé de la conduite du travail des observations méridiennes, a réalisé ces perfectionnements, avec l'assistance de M. Brunner.

« Le Dépôt de la Guerre, de son côté, s'est chargé de fournir la seconde lunette méridienne, et, dans ce but, il a remis en état une ancienne lunette de Gambey, de trois pouces et demi d'ouverture, à laquelle M. Brunner a apporté précisément les mêmes améliorations qui ont été introduites dans la lunette de Paris.

« Dans des travaux de cette importance, auxquels il faut donner une précision assez grande pour n'avoir pas à les recommencer un jour, il était indispensable d'obtenir une preuve solide et irrécusable de la valeur de la méthode et de l'exactitude des instruments. Le meilleur parti à prendre était d'installer d'abord la lunette méridienne du Dépôt de la Guerre en un point des terrains de l'Observatoire, de former ainsi une seconde station d'épreuve, jointe à la première uniquement par un fil métallique, comme dans les opérations définitives, et de déterminer la différence de longitude de cette lunette avec celle de l'Observatoire par le même procédé que l'on se proposait de suivre ultérieurement. Le résultat devait être conforme à celui qu'on peut déduire d'une mesure géométrique faite

directement sur le terrain. C'est dans ce but que la lunette du Dépôt de la Guerre a été effectivement installée à l'Observatoire, où elle se trouve présentement.

« Enfin l'appareil chronographique devait être fourni par l'observatoire de Paris. Sa construction a été confiée à M. Liais, qui a réussi à organiser un instrument dont nous avons tiré, bien qu'il ne soit que provisoire, des résultats très-précis.

« Sur une bande de papier, mise en mouvement par un rouage, une pointe en fer trace des divisions équidistantes, correspondantes aux mouvements d'une pendule sidérale et par l'action même de cette pendule. Une ou deux autres pointes permettent aux observateurs de marquer par des points sur cette même bande de papier, et par le moyen de courants électriques, les instants où une même étoile passe aux divers fils de leurs instruments. La différence des stations en longitude s'en conclut, comme on peut le voir.

« Lorsque, dans l'origine, on a commencé par vouloir employer des pointes sèches pénétrant dans le papier comme celles du télégraphe Morse, on a rencontré d'assez grandes difficultés qui ont fait renoncer à ce moyen et recourir à l'enregistrement électrochimique.

« On comprend que dans la pratique le chronographe soit un peu moins simple que la description que nous en avons donné. Ainsi l'observateur placé à l'autre extrémité de la ligne ne peut agir que par l'intermédiaire d'un relais dont le retard doit être éliminé. Ainsi les pointes ont nécessairement les unes par rapport aux autres de petits retards qu'il faut mesurer avec une grande précision. On doit d'ailleurs se mettre en garde contre les effets de la durée de la transmission de l'électricité. Je ne puis rendre compte ici des heureuses dispositions imaginées par M. Liais pour triompher de ces difficultés, mais je crois utile d'en don-

ner une idée succincte dans la note placée au bas de cette page [1].

« L'instrument du Dépôt de la Guerre, établi à l'Obser-

1. Une horloge placée dans les catacombes de Paris, c'est-à-dire dans la couche de température invariable, fait fonctionner, par le moyen de l'électricité, un cadran et un relais. Le relais est à deux contacts simultanés, isolés l'un de l'autre, et que nous désignerons par les lettres *m* et *n*. (Voir fig. 19, pl. VIII.)

Un mouvement d'horlogerie fait tourner un cylindre métallique platiné, isolé du sol et en communication avec le pôle positif d'une pile P de 20 à 30 éléments de Daniell. Sur ce cylindre et par l'effet de son mouvement se déroule une bande de papier électrochimique. Trois tiges de fer plat, que nous désignerons par *a*, *b*, *c*, reposent et appuient, par leur poids et par celui de leur monture, sur le papier. Par le moyen de leur monture, ces tiges peuvent être mises en communication avec le pôle négatif de la pile P.

On voit que, par cette disposition, chacune des pointes *a*, *b*, *c*, tracera une ligne bleue sur la bande de papier toutes les fois que le circuit sera fermé dans le trajet du pôle négatif P à cette pointe, sans que pour cela les autres pointes fonctionnent lorsque leur communication avec P est coupée. De plus, les pointes tracent toutes les trois ensemble si elles sont simultanément en relation avec P, et l'expérience a fait voir que dans ce cas, pourvu que la pression des pointes sur le papier soit suffisante, l'une d'elles n'influe pas sur l'intensité du tracé des autres.

La communication de la pointe *b*, ou pointe milieu, avec le pôle négatif de P passe par le contact *n* du relais, de sorte que cette pointe divise le papier en secondes. Dans ce qui suit, nous adopterons comme heure de la pendule, non pas le commencement des secondes tracées par la pointe *b*, mais l'instant où le contact *m* ferme un circuit. Il résulte de là que si on appelle τ le retard du contact *n* sur le contact *m*, et *s* le retard du tracé sur l'instant de l'établissement du courant, le commencement du tracé n'a pas lieu à l'heure *h* du contact *m*, mais à l'heure $h + \tau + s$.

La tige *c* est destinée à pointer les observations faites à l'Observatoire. Pour cela, elle peut, par le moyen d'un interrupteur que l'observateur tient dans sa main, être mise en relation avec le pôle négatif de P. Si un même plan vertical perpendiculaire au sens de déroulement du papier ne renferme pas à la fois les tiges *b* et *c*, le pointé fait par la tige *c* dans le même temps que celui de la tige *b*, présentera sur la bande de papier une avance que nous appellerons *r*. Si donc *p* est la lecture faite sur la bande de papier de l'heure d'un passage pointé par la tige *c*, $p + r + \tau$ sera l'heure observée du passage rapporté à l'instant de l'éta-

vatoire, s'étant trouvé, au commencement de la semaine dernière, dans un état d'étude assez avancé, et le chronographe pouvant fonctionner, nous avons entrepris la me-

blissement du courant par le contact m (s a disparu de cette expression comme commune aux deux pointés).

$r + \tau$ est inconnu, mais on peut le déterminer facilement. Il suffit pour cela, dans un instant où l'on n'observe pas, d'établir momentanément à l'aide d'un commutateur une communication passant par le contact m, entre c et le pôle négatif P. La tige c pointe alors la seconde sous l'influence du contact m, en même temps que b continue de la pointer sous l'influence du contact n, de sorte que les deux pointés diffèrent alors précisément de $r + \tau$.

En ajoutant à p la valeur de $r + \tau$ ainsi obtenue, on a l'heure observée π du passage à la lunette de l'observatoire rapportée au contact m de la pendule.

La tige a est destinée à pointer les observations de la 2e station. Mais dans les chronographes électrochimiques, comme dans les chronographes à pointes, un courant venant d'une grande distance est trop affaibli pour pouvoir pointer directement, et il faut avoir recours à un relais, de sorte que l'appareil est disposé de la manière suivante :

A la 2e station est une forte pile P′ dont le pôle positif est à la terre. Le pôle négatif peut être mis en communication avec la ligne télégraphique venant à l'Observatoire par l'intermédiaire d'un interrupteur placé à la disposition de l'observateur de la station. Le courant fait alors battre un relais S qui établit une communication entre le pôle négatif de P et la tige a, de sorte que cette tige trace quand l'observateur de la station ferme son circuit.

Soient ε le temps employé par l'électricité à venir de la station au relais S, μ le retard du relais S sous l'influence du courant de la pile P′, r' l'avance de la pointe a, sur la pointe b, p' la lecture faite sur la bande de l'heure d'un passage pointé par a, $p' + r' + \tau - \mu - \varepsilon$ sera l'heure du passage à la lunette de la station rapportée toujours au même contact m pris pour heure de la pendule.

$r' + \tau - \mu$ est inconnu, mais on peut l'éliminer de la manière suivante :

Si de temps en temps, à des heures convenues d'avance, l'observateur de la station met pendant un instant le pôle négatif de sa pile P′ en communication permanente avec la ligne, et si, en même temps, à l'Observatoire, au lieu d'envoyer directement, comme pendant les observations, le courant venant de la station dans le relais S, on le fait passer au moyen d'un commutateur par le contact m de la pendule pour venir ensuite à ce relais, le relais S battra la seconde, et par suite la pointe a

sure de la différence de longitude entre les deux instruments par le moyen des observations astronomiques.

« Le 29 juillet, une première série d'observations des mêmes étoiles a été faite, à la lunette du Dépôt de la Guerre, d'une part, par M. le commandant Rozet; à la lunette de l'Observatoire, d'autre part, par moi. Dans une seconde série, nous avons changé respectivement de place les lunettes, afin d'éliminer toute influence d'équations personnelles. On a lieu de croire, au reste, que les équations personnelles sont fort réduites par ce mode d'observation, et les chiffres que nous donnerons plus loin montreront qu'il ne paraît point en exister de sensible entre M. Rozet et moi.

« Comme il restait un point indécis touchant les tourillons de la lunette du Dépôt de la Guerre, on a pris soin d'en éliminer l'influence en faisant une seconde double

pointera la seconde sur la bande de papier, sans que pour cela b cesse de la pointer. Or le relais S aura toujours le même retard que pendant les observations, puisque ce sera le même courant de la station qui le fera marcher, et, par conséquent, les tracés des deux pointes diffèreront précisément de $r' + \tau - \mu - \varepsilon'$, ε' étant le temps employé par l'électricité pour venir de la station. Au premier abord, ε' paraît devoir être égal à ε, puisque l'électricité vient de la station, soit que l'observateur ou la pendule pointe, mais il faut remarquer qu'il y a une différence essentielle entre les deux cas. En effet, dans le premier, la ligne n'était pas chargée d'électricité avant le contact comme dans le second. Il résulterait même des expériences de M. Wheatstone que ε' serait nul.

En faisant donc $r' + \tau - \mu - \varepsilon'$ (quantité connue et mesurée) $= v$, $p' + v - (\varepsilon - \varepsilon')$, dans laquelle $p' + v = \pi'$ est connu, sera l'heure du passage observé à la station, rapportée au contact m, pris pour l'heure de la pendule.

On voit donc que l'on peut avoir les heures exactes des passages d'une même étoile aux lunettes des deux stations, données par une même pendule, sans introduction d'aucune erreur de la part du chronographe. Seulement, à l'heure du passage à la 2e station il faut joindre $(\varepsilon - \varepsilon')$, quantité qui peut être déterminée directement. Cette quantité se déduirait d'ailleurs de la longueur des lignes ainsi que des lois de propagation, et des vitesses connues des courants électriques dans les fils télégraphiques.

série d'observations le 30 juillet, la lunette étant dans une position inverse de celle de la veille.

« L'ensemble de ces observations a fourni les résultats suivants pour la longitude ouest de la lunette de Paris, par rapport à celle du Dépôt de la Guerre :

JUILLET 29.

1re série	$-0^s,011$	moyenne $= -0^s,002$
2e série	$+0\ ,006$	

JUILLET 30.

(La lunette du Dépôt étant dans une situation inverse de celle de la veille.)

1re série	$+0^s,049$	moyenne $= +0\ ,054$
2e série	$+0\ ,059$	

Résultat définitif	$= +0\ ,026$
D'un autre côté, la mesure directe donne	$= +0\ ,035$
Erreur de la mesure astronomique	$= +0^s,009$

« Ainsi la mesure astronomique, effectuée par le même

On peut, au reste, faire porter le retard $(\varepsilon - \varepsilon')$ sur les observations de l'Observatoire, en profitant pour cela de ce que les lignes télégraphiques ont deux fils. La grande pile P', au lieu d'être à la station, serait à l'Observatoire. Son courant se rendrait à la station par l'une des lignes, pour revenir par l'autre fil faire battre à l'Observatoire le relais S à la volonté de l'observateur de la station. Quand on ferait battre le relais S par le contact *m* de la pendule, le courant P' passerait d'abord par ce contact pour aller ensuite à la station et revenir. Il est facile de voir qu'en combinant une série ainsi faite avec la première $(\varepsilon - \varepsilon')$ disparaîtrait de l'équation finale donnant la longitude.

On pourrait craindre que dans cette seconde série, à cause des pertes par les lignes, l'électricité n'eût pas fait le trajet entier quand la pendule pointe; mais en y réfléchissant, on voit que si le relais a été réglé pour l'observateur, cela n'est pas possible. Toutefois, dans le cas de grandes pertes sur la ligne, si le temps est très-humide, on pourrait peut-être avoir quelque difficulté à régler alors le relais S, mais on lèverait cette difficulté en plaçant à la station un nouveau relais et en rétablissant la pile de cette station. Alors le courant venant de Paris ferait battre ce relais, tantôt par la pendule, tantôt à la volonté de l'observateur, et ce relais renverrait le courant de la station au relais S. On aurait introduit un nouveau retard de relais; mais ce retard, commun à l'observateur et à la pendule et se produisant sous l'influence de la même pile, disparaîtrait comme le retard du relais S et en même temps.

procédé que si les lunettes avaient été à une grande distance l'une de l'autre, et sans profiter de leur voisinage pour la comparaison des instruments, a fourni un nombre exact à moins d'*un centième de seconde* de temps près. Ce résultat montre que nous disposons d'une méthode précise et avec laquelle nous pouvons maintenant entreprendre et conduire avec rapidité, nous l'espérons, la mesure des longitudes sur les divers points de la France. Déjà nous avons résolu, le Dépôt de la Guerre et nous, d'entreprendre immédiatement la station de Bourges, qui est un des points principaux de la grande triangulation géodésique de la France. M. le commandant Rozet est sur les lieux pour commencer les constructions nécessaires, pendant que quelques derniers perfectionnements seront apportés aux instruments.

« L'Académie des Sciences, par les soins ou sous les auspices de laquelle ont été faits pendant un siècle les travaux intéressants sur la figure de la terre, à Cayenne, au Pérou, en Laponie, en France, en Espagne, en Italie, verra avec quelque satisfaction, nous l'espérons, les efforts tentés pour apporter à ces grandes opérations les derniers perfectionnements que l'avancement des sciences permet de réaliser. La détermination des latitudes sera reprise elle-même en temps et lieu.

« Nonobstant, il restera toujours beaucoup à faire. Les œuvres accomplies dans la science ne servent qu'à amener le désir et à faire sentir la nécessité d'autres travaux, et si l'Académie des Sciences daignait accorder aussi son patronage à des entreprises qui, je le répète, l'ont tant occupée pendant un siècle, il serait peut-être digne d'elle de reprendre, avec tous les moyens dont on dispose aujourd'hui, les mesures des degrés du Pérou et de Laponie, qui furent exécutées par Bouguer et La Condamine, Maupertuis et Clairaut. »

L'explication de la fig. 19, pl. VIII donnera une idée complète de la disposition de ce nouveau système.

A est une boîte rectangulaire dans laquelle est renfermé le rouleau au papier chimique. Au-dessous de ce rouleau se trouve une petite cuvette carrée remplie d'eau, destinée à entretenir toujours humide l'air de la boîte.

B est une boîte renfermant le mouvement d'horlogerie, qui met en mouvement le cylindre métallique C, sur lequel passe la bande de papier chimique. Ce mécanisme est commandé par un électro-aimant de détente E qui sert en même temps de relais au moyen de l'appendice *e* et du ressort fixe *f*.

F est le volant modérateur du mécanisme précédent.

R est le treuil sur lequel est enroulée la corde du contrepoids qui fait marcher le mécanisme B.

G est un cylindre d'ivoire porté par une fourchette H qui maintient, appuyée contre le cylindre C, la bande de papier chimique.

I est le relais en rapport avec l'horloge électrique placée dans les catacombes et qui bat la seconde. Ce relais est à deux contacts, l'un agissant sur le ressort *m*, l'autre agissant sur le ressort *n*. Ce dernier reçoit le courant par l'articulation de l'armature du relais, tandis que le premier qui est isolé de cette armature ne le reçoit que par un conducteur extensible, disposé en conséquence. La pièce *g* qui porte deux chevilles, est une pièce de soutien pour l'armature du relais, et les vis *h* et *i* constituent : la dernière le butoir d'arrêt, et la première le régulateur du ressort antagoniste.

a, *b*, *c* sont trois longs leviers métalliques, repliés en col de cygne, qui portent les lames d'acier destinées à réagir sur le papier chimique ; ces leviers sont articulés avec précision en *k*, *l* et *o*. On leur a donné cette disposition pour que les ressorts d'acier en s'usant (ce qui a lieu assez promp-

tement) ne changent pas sensiblement de place sur le cylindre.

S est le relais interposé dans le circuit de la ligne. Il marche, par conséquent, sous l'influence de la pile de la station mise en rapport avec l'appareil chronographique.

K est le commutateur destiné à faire vérifier la position du style *c* par le pendule.

O est le commutateur qui opère la même fonction pour le style *a*.

M est un petit manipulateur portatif en ivoire, sur les deux côtés duquel se trouvent deux ergots à ressort *p* et *q*, en rapport avec deux fils métalliques. Une gaîne métallique *t u*, qui glisse le long de cet interrupteur, permet de réunir métalliquement ces deux ergots d'une manière fixe, et de mettre, par ce seul fait, à découvert le bouton *r* d'un conjoncteur, dont les deux fils réunis à ceux des deux ergots, constituent un seul et même cordon très-flexible.

Enfin N représente une série de boutons d'attache en rapport avec les huit fils nécessaires pour le fonctionnement de l'appareil et dont les points de liaison sont répartis de la manière suivante :

N° 1. Fil de terre.

N° 2. Fil en rapport avec le pôle — de la pile traçante.

N° 3. Fil en rapport avec le pôle + de la pile de détente du mécanisme d'horlogerie B.

N° 4. Fil en rapport avec le pôle + de la pile traçante.

N° 5. Fil en rapport avec le pôle — de la pile de détente du mécanisme B.

N° 6. Fil en rapport avec le pôle + de la pile de l'horloge électrique établie dans les catacombes.

N° 7. Fil en rapport avec cette horloge.

N° 8. Fil de la ligne.

Voici maintenant comment sont disposées les communications électriques.

Le fil n° 1 communique avec le bouton T du relais S. Le

bouton L de ce même relais est en rapport avec la plaque de droite du commutateur O et avec le point de liaison *x* commun à plusieurs circuits.

Le fil n° 2 aboutit au contact mobile *e* du relais E, dont le ressort *f* est en rapport avec le cylindre C.

Le fil n° 3 aboutit à l'électro-aimant de détente E dont le fil est déjà en communication avec l'un des deux ergots *q* du manipulateur M.

Le fil n° 4 communique, d'une part, avec le contact fixe *y* du relais S, et de l'autre avec l'armature du relais I qui représente son contact mobile. Les autres contacts de ces deux relais sont en rapport : l'un *v*, celui du relais S avec le style *a*, le second, celui *n* du relais I avec le style *b*.

Le fil n° 5 aboutit à l'ergot *p* du manipulateur.

Les fils n° 6 et 7 relient les extrémités du fil de l'électro-aimant relais I.

Enfin le fil n° 8 correspond à la bascule du commutateur O, et par son intermédiaire au relais S.

D'autres communications relient la plaque de gauche du commutateur O avec la plaque correspondante du commutateur K, et celle-ci avec le ressort *m* du relais I, dont le contact mobile est lui-même en rapport avec le point de liaison *x*. Ce point de liaison communique : 1° au style *c*; 2° au style *b*; 3° au bouton L; 4° au ressort S de l'interrupteur du manipulateur dont le bouton *r* communique avec la plaque de droite du commutateur K. Enfin la bascule du commutateur K communique avec le fil n° 4 et la bascule du commutateur O avec le fil n° 8.

Pour vérifier la position respective des styles sur le cylindre, et les influences exercées par les temps de chute des relais, opération qui doit précéder l'expérience définitive, on opère de la manière suivante : 1° pour la vérification du style de la station où se trouve l'appareil récepteur, on tourne la bascule du commutateur K sur la plaque de

gauche, et on fait glisser la gaîne *t u* sur les deux ergots *p* et *q*. Le courant se trouve alors fermé à travers l'électro-aimant E et l'appareil est mis en fonction. Le courant de la pile traçante va du fil n° 4 à l'armature du relais I, et à chaque mouvement de cette armature (sous l'influence de l'horloge des catacombes), c'est-à-dire toutes les secondes il passe par le contact *n* pour entrer dans le style *b*. De là, il traverse le papier chimique et revient au fil n° 2 par les contacts *e*, *f* du relais E. Sous l'influence de cette réaction électrique un trait bleu est imprimé de seconde en seconde sur la bande de papier par le style *b*. En même temps, une seconde série de traits bleus est marquée par le style *c* sous l'influence du second contact *m* du relais I. En effet, la communication métallique qui unit le fil n° 4 à l'armature du relais I se bifurque pour rejoindre la bascule du commutateur K; par cette bascule, le courant est transmis à la plaque de gauche de ce commutateur, et de cette plaque au contact *m*, puis au style *c*, par le contact mobile et le conducteur extensible *m c*. De ce style, il traverse le papier chimique pour se greffer au premier circuit sur le cylindre C. Si les deux contacts *m* et *n* ne sont pas touchés en même temps, et si les styles *c* et *b* ne correspondent pas exactement à la même génératrice du cylindre C, on peut apprécier la valeur de l'erreur (qui, du reste, est une quantité constante) par la non-correspondance des traits marqués par les deux styles.

2° Pour la vérification du style de la station à laquelle l'appareil est relié, on tournera la bascule du commutateur O sur la plaque de gauche et on interrompra le courant à travers le commutateur K. Le courant venant de la station éloignée qui sera alors fermé d'une manière permanente à cette station viendra par le fil n° 8, entrera dans la bascule du commutateur O, en sortira par la plaque de gauche, sur laquelle cette bascule appuie, arrivera au contact *m* du relais

I, et à chaque seconde sera transmis par l'intermédiaire du point de liaison x au bouton L du relais S, dont la communication avec la terre complétera le circuit. Ce relais fonctionnera donc synchroniquement avec le relais I, mais sous l'influence du courant de la ligne. D'un autre côté, le circuit bifurqué partant du fil n° 4 transmettra le courant de la pile traçante au contact y du relais S, par l'intermédiaire du bouton P, auquel il est relié; de sorte que par la jonction toutes les secondes de ce contact avec le contact mobile v, le courant de la pile traçante se trouve transmis au style a, et de là au cylindre C qui complète le circuit. Ce style a réagira donc comme le style c, et l'on pourra juger par la correspondance des traces fournies par ce style et le style b, des retards dus : 1° à l'action du relais S; 2° au défaut de simultanéité dans le jeu des contacts m et n du relais I; 3° à la différence de position sur le cylindre des styles b et a. Ces retards étant toujours de la même valeur, pendant toute la durée des expériences, constitueront une quantité constante qu'il sera facile d'introduire dans les calculs.

Ces expériences une fois faites, on procédera à l'expérience. Pour cela les deux observateurs placés aux deux stations, dont on veut mesurer la longitude, attenderont le manipulateur M en main, et l'œil fixé dans la lunette des passages, le moment où les étoiles désignées d'avance, passeront devant le réticule; alors appuyant le doigt sur le bouton r du manipulateur, ils fermeront le courant de la pile traçante à travers les styles a et c, et ceux-ci, par la différence de position des traces qu'ils laisseront, indiqueront la différence de longitude entre les deux stations. Voici comment circulent, dans ce cas, les courants électriques :

Les commutateurs K et O sont, bien entendu, ramenés sur les plaques de droite; le courant de la pile traçante

part du fil n° 4 et se dirige d'un côté, par le commutateur K, et la plaque de droite de ce commutateur, au bouton *r* du manipulateur, d'où il ressort pour aller à la pile par le style *c*. De l'autre côté, il se rend au contact du relais S pour aller directement au style *a* et de là à la pile. Comme le manipulateur O a établi la communication directe de la ligne avec le relais S, toutes les fermetures de courant opérées à la station éloignée, font réagir ce relais, et par suite le style *a*.

Comme on le voit dans ce système, il faut employer quatre piles différentes.

Système de détermination de la longitude d'après M. Thalén. — « Pour faire connaître, dit M. Thalén, en quoi consiste la méthode dont il s'agit, je vais indiquer d'abord les principes sur lesquels elle repose, et les appareils dont je me suis servi.

« La méthode est basée sur la coïncidence des pendules; les appareils consistent principalement dans les pendules des deux localités, dans deux piles galvaniques et deux électro-aimants; une pile et un électro-aimant à chaque station.

« Si l'on suppose que le fil conducteur du courant électrique soit en communication métallique avec les points de suspension des pendules susdits, dont les extrémités soient munies chacune d'une petite pointe d'acier qui, le pendule étant vertical, puisse plonger dans un tube ouvert à la partie supérieure, et rempli totalement de mercure; si l'on suppose, outre cela, que chaque pile galvanique soit mise en relation métallique avec le mercure par un de ses pôles, et par l'autre avec une plaque enterrée dans le sol[1]; on conçoit évidemment que, les deux pendules étant *en repos*, le circuit sera parfaitement et perpétuellement fermé par le fil télégraphique, les deux pendules, les tubes de

1. Il est naturellement superflu d'avertir que les courants excités par les deux piles doivent être dirigés dans le même sens.

mercure et la terre. Au contraire, si les pendules sont mis *en mouvement*, et nous supposons, pour fixer les idées, que leurs *longueurs soient très-inégales* [1], le circuit sera ouvert jusqu'au moment où les extrémités des tiges des pendules plongeront *simultanément* dans le mercure, c'est-à-dire au *moment de la coïncidence* des pendules, durant lequel il sera instantanément fermé.

« En outre, supposons un électro-aimant, interposé dans le circuit et peu éloigné de la pendule à chaque station, il est évident que les armatures des aimants, au moment de ladite coïncidence, se trouveront attirées par l'influence du courant fermé. Ainsi les aimants, en donnant des signaux par leurs coups, indiqueront simultanément qu'il y a coïncidence.

« Il nous reste à indiquer comment on doit déterminer avec exactitude les états simultanés des horloges au moment de ladite coïncidence. Cela peut s'effectuer de deux manières : soit par *les observateurs mêmes*, soit par *les appareils enregistreurs*.

« Dans le *premier* cas, au signal de l'électro-aimant, chacun des observateurs des deux endroits doit enregistrer immédiatement les deux secondes entières et accomplies de l'horloge, entre lesquelles il entend le coup de l'aimant; et il sera sûr ainsi que le moment exact de la coïncidence sera situé entre les deux secondes observées. Pour avoir exactement l'état de l'horloge audit moment, il faut déterminer avec beaucoup de soin l'intervalle du temps écoulé depuis le battement de l'électro-aimant jusqu'au moment où le pendule, écarté de sa ligne verticale, fait entendre son battement. Cette détermination pourrait être exécutée au moyen d'un chronomètre, par la méthode des coïn-

1. Nous supposons que les deux pendules soient suspendus sur la même latitude, et par conséquent, nous ne considérons pas l'inégalité qui dépend du mouvement de rotation et de l'aplatissement de la terre.

cidences. Cependant, parce que nous désirons non-seulement que les coïncidences soient indiquées par les instruments mêmes, mais aussi qu'ils exécutent toute la détermination des états des horloges au moment de la coïncidence, nous ne nous arrêterons plus à cette manière d'observer les coïncidences.

« Dans le *second* cas, on peut employer l'appareil d'enregistration à deux leviers et à deux électro-aimants, employé aux observations des passages d'étoiles [1], qui s'applique parfaitement à ce but. En effet, il faut seulement, à chaque station, remplacer l'électro-aimant susdit par l'un des aimants de l'appareil, qui enregistrera sur le cylindre moteur la seconde de la coïncidence, tandis que l'autre, réglé par le même pendule, mais mis en mouvement par le courant d'une autre pile galvanique, marquera les secondes consécutives des pendules au moment de leur passage par la ligne verticale. Ainsi, sur ledit cylindre on trouvera, en général, une hélice des points enregistrés qui représentera les secondes consécutives; mais au moment de la coïncidence des pendules, on verra des points enregistrés côte à côte. De plus, le moment de la coïncidence étant enregistré sur le cylindre, on comprendra facilement qu'il n'y a pas de difficultés à l'égard de la détermination rigoureuse de l'état de l'horloge dans ce moment. Au reste, les détails de ce procédé se comprennent aisément.

« Cela posé, si l'on veut appliquer cette manière d'observer les coïncidences des horloges à la détermination de la différence de longitude entre les deux endroits, il suffit pour cela de comparer entre eux les états simultanés des horloges aux moments des coïncidences corrigés eu égard à l'avance ou au retard des pendules. La différence de ces états corrigés sera la différence cherchée. Cependant, en

1. *Monthly Notices*, vol. XIV, page 203.

employant l'appareil enregistreur, la présence de l'observateur auprès de ces instruments ne sera pas absolument nécessaire avant la fin de l'expérience pour lire les résultats enregistrés sur le cylindre. Ainsi, il peut consacrer tout son temps aux observations astronomiques, pour en déduire les erreurs de l'état de l'horloge et contrôler sa marche. Conséquemment, la détermination de longitude exécutée tout à fait, relativement aux signaux galvaniques, par les *instruments mêmes*, ne doit rien laisser de plus à désirer.

« Voilà la méthode annoncée qui diffère ainsi des méthodes employées jusqu'aujourd'hui, en ce qu'elle est basée exclusivement sur les coïncidences. »

L'auteur entre ensuite dans quelques détails sur diverses précautions à prendre pour assurer le succès des expériences, et sur les avantages de l'emploi du chronographe pour enregistrer les observations comme les signaux. Et il termine en rapportant les résultats des expériences qu'il a faites pour vérifier les principes qu'il vient d'établir.

« Après avoir exécuté cette expérience avec le succès le plus parfait à l'observatoire d'Upsal, pendant l'hiver de 1855, lorsque, les pendules étant placées dans des chambres voisines, les fils conducteurs avaient une longueur de quelques mètres, dit M. Thalén, je l'ai répétée, en opérant avec le fil télégraphique entre Stockholm et Upsal, qui est d'une longueur de 75,000 mètres environ. Cependant, cette expérience n'a pu être exécutée avec une précision suffisante, parce que, comme nous l'indiquerons tout de suite, les circonstances ne permettaient point de prendre les précautions nécessaires. En effet, le seul but de l'expérience dont je vais parler, c'était de découvrir s'il existait, en employant un fil dont la longueur était plus considérable, des difficultés non pressenties d'avance.

« Après avoir déterminé par la télégraphie ordinaire la différence approximative des états des horloges, la pendule

de Stockholm étant réglée sur le temps moyen, et celle d'Upsal sur le temps sidéral, j'ai fait passer le circuit par les deux pendules de la manière ci-dessus indiquée, pour commencer à faire les observations des coïncidences. Cependant, au moment de la coïncidence, on n'entendit qu'à l'une des stations les battements de l'électro-aimant, et en faisant les expériences convenables pour découvrir la cause de ce phénomène, nous trouvâmes facilement que le fil télégraphique entre les deux stations n'était pas parfaitement isolé. Cette circonstance causait une bifurcation du courant électrique, dont la partie la plus considérable, en s'écoulant en terre, ferma le circuit continuellement et fit que l'électro-aimant d'une station frappait à chaque oscillation du pendule, tandis que l'autre partie du courant qui au moment de la coïncidence parcourait le fil télégraphique entier se trouva à son arrivée à l'autre station tellement affaiblie, qu'elle n'était pas capable d'attirer une armature, munie d'un ressort antagoniste légèrement tendu. Ne pouvant pas immédiatement lever cet inconvénient, je me suis borné à observer les coïncidences exclusivement à l'une des stations.

« Il a été fait deux séries d'observations, dont la première a été observée le 22 juin 1855, et la dernière le jour suivant. Voici comment s'opéraient les observations des coïncidences pendant ces deux jours. La différence des états des pendules pour un certain moment étant connue au moins approximativement, l'observateur[1] annotait les secondes de son horloge qui succédaient au premier battement de l'électro-aimant et aussi au dernier; le milieu arithmétique de ces secondes fut regardé comme le temps d'une certaine coïncidence, compté sur l'horloge de cette station. Les temps correspondants de l'horloge de l'autre

1. Je ne me suis servi d'aucun appareil instrumental pour l'enregistration des observations, parce que je n'en possède aucun.

station furent déterminés avant et après la série des coïncidences, par des signaux donnés par la télégraphie ordinaire, aussi au moment des coïncidences.

« Du reste, les stations où ont été faites ces expériences, étaient les stations télégraphiques dont nous avons employé les horloges, et non pas les observatoires des deux villes. Par conséquent, pour connaître les erreurs des pendules, il était nécessaire de les comparer avec des chronomètres transportés des observatoires aux stations susdites. J'ai ainsi trouvé pour la différence de longitude entre les deux observatoires de Stockholm et d'Upsal :

22 juin 1855	$1^m\ 43^s,648$
23 juin	$1^m\ 43^s,641$

« Ces nombres coïncident par hasard avec la différence auparavant déterminée. En effet, comme on le trouve dans la *Connaissance des Temps*, la longitude de Stockholm, à l'est de l'ancien observatoire d'Upsal, est $1^m40^s,00$, et, selon une triangulation trigonométrique exécutée en 1844, on a trouvé, au moins approximativement, la différence du méridien de l'ancien observatoire d'Upsal à l'est du nouveau, $3^s,66$; donc la longitude de Stockholm à l'est du nouvel observatoire d'Upsal sera, approximativement, $1^m43^s,66$.

Nouvelle détermination de la différence de longitude entre Paris et Bourges. — Grâce à l'activité de M. Leverrier la différence de longitude entre Paris et Bourges vient d'être déterminée, et cette opération à laquelle on a apporté toute la précision désirable a démontré un fait que déjà on avait soupçonné ; c'est que les anciennes déterminations des longitudes sont entachées d'erreurs considérables. En effet, la nouvelle détermination de longitude entre Paris et Bourges diffère tellement de l'ancienne que M. Leverrier doit faire des recherches sur les causes qui ont pu induire à ce point en erreur les ingénieurs

chargés primitivement de cette détermination ; car l'erreur est trop considérable pour qu'il n'y ait pas eu l'intervention de causes physiques et accidentelles.

Dans cette nouvelle opération M. Liais a supprimé le relais S fig. 19 pour les indications fournies par la station de Bourges. Le courant agit alors directement sur le style *a*, et pour lui donner plus de sensibilité la lame d'acier a été enlevée et remplacée par une lame de cuivre. Il résulterait en effet des expériences faites dans cette circonstance que le cyanure Brun de cuivre qui se forme alors, exigerait moins de force électrique pour être formé que le cyanure double de fer. C'est une question qu'il serait intéressant d'étudier plus à fond, car elle pourait être d'une grande importance dans la télégraphie électrique.

Application de la télégraphie électrique aux observations météorologiques. — Nous avons déjà eu l'occasion de dire, au sujet des enregistreurs électriques, que les observations météorologiques ne pourront fournir de résultats concluants qu'autant qu'elles seront multipliées et faites simultanément sur différents points du globe. Cette simultanéité d'observation si nécessaire pour les observations en général, le devient surtout dans l'étude de phénomènes anormaux et lors des cataclysmes qui peuvent survenir. Ainsi on peut comprendre combien serait utile au moment d'une trombe, d'un ouragan ou d'une grêle extraordinaire, une correspondance électro-météorologique qui indiquerait l'étendue, la circonscription, la hauteur et les caractères particuliers de ces fléaux destructeurs en différents points de leur étendue. L'observateur serait dès lors en possession d'un œil gigantesque qui pourrait lui faire apprécier dans son ensemble aussi bien que dans ses détails, ces différents phénomènes, et il lui serait alors possible de les analyser, de les expliquer, peut-être même de les prévoir, ou tout au moins de prévenir à l'avance les pays qui pourraient en su-

bir les effets désastreux; un homme averti en vaut deux, et il est certain que dans beaucoup de cas cette application aurait un but d'utilité directe.

Pour n'en citer qu'un exemple, supposons que des lignes télégraphiques soient établies sur le cours des fleuves les plus sujets aux inondations. Aussitôt qu'un violent orage se manifestera à la partie supérieure de ce cours d'eau, à l'instant même cet accident météorique sera signalé dans tous les lieux menacés d'une crue trop rapide. Les préposés ouvriront les écluses et, au moyen de la téléphonie, ils feront lever les vannes de décharge; les eaux torrentielles s'écouleront par de larges issues et le cultivateur aura sauvé sa récolte. Ce procédé, on le voit, est plus sûr que le nilomètre ou l'ombromètre.

Les aurores boréales, sur l'origine et même la hauteur lesquelles les savants ne sont pas encore aujourd'hui d'accord, pourraient, par la simultanéité des observations, être tudiées d'une manière beaucoup plus certaine. Par leur pparition simultanée en tels ou tels points du globe, on ourrait reconnaître définitivement leur hauteur, leur étenue et le point de leur apparition.

« Le temps beau ou mauvais, chaud ou froid, sec ou humide épend, dans un lieu donné, dit M. Ball, de certaines causes u conditions physiques de chaleur, de pression atmosphéique, d'humidité, de direction et de vitesse du vent. Quelques-unes de ces causes sont particulièrement locales en e sens qu'elles naissent et peuvent être immédiatement bservées au lieu où l'on est. Les autres, au contraire, le vent, par exemple, avec sa direction et sa vitesse, naissent illeurs à une certaine distance et ne viennent exercer leur influence sur l'état atmosphérique du lieu où est placé l'observateur qu'après avoir parcouru une distance plus ou moins longue, avec une vitesse plus ou moins grande. L'influence des premières causes, pression atmosphérique,

température, état du ciel, etc., est en général moins grande; elle peut, dans tous les cas, être appréciée et comme prédite d'avance par une série plus ou moins longue d'observations météorologiques faites dans le lieu dont il s'agit. Mais les secondes causes qui sont nées ailleurs et qui viennent après un temps plus ou moins long exercer leur influence perturbatrice, avaient jusqu'ici pour caractère essentiel *l'imprévu*, de telle sorte que prédire le temps semblait une prétention ridicule, une tentative téméraire, une idée chimérique. En serait-il encore ainsi, maintenant que le télégraphe électrique fonctionne? évidemmentnon. Admettons en effet qu'il s'agisse de Londres, et que chaque jour ou deux fois par jour, nous y recevions par le télégraphe électrique les observations météorologiques des points les plus éloignés de l'Europe, avec la pression barométrique, la température, le degré d'humidité, la direction, la vitesse et la force des vents. De fait, toutes ces indications avec les moyens actuels et les communications établies, peuvent parvenir dans un espace de temps infiniment court. Or, comme en général la vitesse des vents ne dépasse pas vingt milles à l'heure, il résulte de la transmission comme instantanée du télégraphe électrique, qu'à Londres on saura assez longtemps à l'avance qu'un vent, né ou apparu dans l'une des régions dont nous venons de parler, s'avance avec tel degré d'intensité en parcourant tant de lieues à l'heure, et que l'on pourra annoncer jusqu'au moment exact de son arrivée. Et parce qu'après avoir éliminé d'avance, par l'expérience d'un très-grand nombre d'années et de longues séries d'observations, l'influence des causes locales, on sait réellement le temps qu'amène le vent dont nous parlons, on prendra ce temps avec une sorte d'infaillibilité. Le grand, l'immense problème des temps modernes sera ainsi résolu, et la météorologie sera devenue une science pratique aussi sûre que l'astronomie dans ses indications prophétiques. »

Sans aller aussi loin et sans être aussi affirmatif que M. Ball, je crois que tout l'avenir de la météorologie est dans ce genre d'application de la télégraphie électrique.

Déjà en France, grâce à l'heureuse initiative de M. Leverrier, les indications météorologiques de quatorze stations échelonnées en différents points du pays, sont transmises télégraphiquement tous les jours, à huit heures du matin, à l'Observatoire de Paris, et publiées le soir dans le journal *la Patrie*. Ces stations sont Dunkerque, Mézières, Strasbourg, Tonnerre, Paris, Le Havre, Brest, Napoléon-Vendée, Limoges, Montauban, Bayonne, Avignon, Lyon, Besançon. D'ici à peu de temps, elles seront encore plus nombreuses, car M. Leverrier se propose de les porter à 24. Les indications que ces stations envoient chaque jour se rapportent à la pression barométrique, à la température, à la direction et la force du vent, enfin à l'état du ciel, et dans les résumés publiés dans le journal *la Patrie*, l'état atmosphérique de chaque jour se trouve comparé à celui du jour précédent.

En Italie, depuis plus de dix-huit mois, des indications analogues sont fournies à l'Observatoire de Rome, venant des villes d'Ancône, de Bologne, d'Urbino et de Ferrare. Elles sont publiées dans la *Corrispondenza scientifica di Roma*. Espérons donc que d'ici à peu de temps tous les États d'Europe imiteront ces exemples, et grâce aux moyens de communication si faciles que nous possédons, nous pourrons, par les journaux, suivre en quelque sorte pas à pas tous les phénomènes atmosphériques dans leurs diverses périodes.

APPAREILS DIVERS.

Application de l'électro-magnétisme à la marche du pendule pour la démonstration du mouvement de rotation de la terre. — Tout le monde connaît la belle expérience par laquelle M. Foucault à démontré matériellement aux yeux, le

mouvement de rotation de la terre au moyen du pendule. Cette expérience fondée sur l'immobilité du plan d'oscillation du pendule se comprend aisément dès lors que l'on examine qu'un pareil système ne tenant à son support que par un seul point autour duquel il peut aisément pivoter, est complétement indépendant du déplacement que subira celui-ci, et doit en conséquence osciller toujours dans une même direction après qu'une première impulsion lui aura été communiquée. La conséquence de cette propriété est qu'un corps mobile muni d'un pendule libre dans ses mouvements, possédera ainsi un système de repère à l'aide duquel ses déplacements pourront être constatés. La terre étant un corps mobile, on pourra donc apprécier ses mouvements, en faisant osciller un pendule à sa surface; et comme nous ne voyons pas tourner la terre faute de points de repère, c'est le pendule qui, au contraire, nous paraîtra dévier de son plan initial d'oscillation. En effet, si on adapte sous ce pendule que nous supposons à l'un des pôles de la terre, un cadran divisé, et qu'on lui donne une première impulsion dans la direction du 360e degré au 180e, au bout d'un certain temps le pendule aura dévié et oscillera du 350e degré au 170e degré; il y aura donc une différence de 10 degrés dans les deux directions du plan d'oscillation du pendule et cette différence représentera *la somme* des déplacements que la terre a subies pendant cet intervalle de temps. Je dis *la somme* des déplacements, car le mouvement de la terre, par rapport au pendule, se complique de son mouvement de révolution autour du soleil et de son mouvement sidéral. Je ne m'arrêterai pas à expliquer comment, dans nos régions, le pendule oscillant dans un plan qui n'est pas perpendiculaire au plan de rotation de la terre, se déplace beaucoup plus lentement[1]

1. Cette décroissance est proportionnelle au sinus de la latitude.

qu'il ne le ferait aux pôles de la terre, seuls points où ses déviations représenteraient exactement les arcs décrits par la terre dans ses mouvements. Cette question est complétement en dehors de notre sujet, et ne se rattache à l'électricité que par un système d'entretien de mouvement du pendule dont nous allons parler. Toutefois, les simples considérations que nous venons d'exposer suffisent pour démontrer que les déviations du plan d'oscillation du pendule ne peuvent indiquer l'heure comme plusieurs journalistes l'ont affirmé [1].

Pour que les déviations du plan d'oscillation du pendule puissent s'effectuer d'une manière sensible, il faut que le mouvement de celui-ci dure un certain temps et qu'il soit complétement affranchi de toute influence contraire à la première impulsion qu'il a reçu. Or, ces conditions sont difficiles à réaliser avec de petits pendules dont les oscillations durent quelques minutes à peine. Avec les pendules dont la tige est très-longue, et dont le poids est très-considérable, ces oscillations peuvent durer beaucoup plus longtemps, et c'est pourquoi dans l'origine, M. Foucault avait établi son appareil sous le dôme du Panthéon.

Mais de pareils pendules exigent une installation toute particulière et un local qu'il n'est pas donné à tout le monde de se procurer. On a donc dû chercher à réagir mécaniquement sur des pendules de moindres dimensions, tout en les laissant libres dans leurs mouvements, et c'est dans ce but que l'électricité a pu être d'un secours fort utile.

La première idée d'employer l'électricité à entretenir le mouvement du pendule de M. Foucault, appartient à M. Franchot, qui à cet effet avait fait construire un appareil fondé sur le système d'entretien du mouvement de la

1. Voir sur ce sujet une note intéressante de M. Govi, dans l'*Illustration* du 22 septembre 1855, et une brochure de M. E. Gand.

balançoire par des oscillations mécaniques opérées verticalement. Mais ce système réalisé électriquement, quoique entretenant suffisamment bien le mouvement du pendule empêchait celui-ci de *manifester la moindre déviation*. Or tel n'était pas le but que se proposait l'inventeur. Dernièrement cette idée a été reprise par M. Foucault lui-même, et cette fois, avec l'aide de M. Froment, le problème a été complétement résolu.

La cause pour laquelle la déviation du pendule ne pouvait être accusée dans le système de M. Franchot provenait essentiellement de la mobilité de la tige du pendule dans le sens de sa longueur (*nécessitée par les oscillations verticales auxquelles elle se trouvait assujettie*) et de sa réaction sur un commutateur. Pour obtenir en effet des déviations bien marquées, il faut que la tige du pendule soit entièrement libre comme nous l'avons déjà dit, et qu'elle se trouve fixée par un mode de suspension excessivement rigide. Dans la solution du problème de l'entretien de mouvement de cette sorte de pendule, il fallait donc faire en sorte :

1° Qu'une attraction rayonnante dans tous les sens pût rappeler le pendule écarté de la verticale, en quelque point de sa déviation qu'il pût se trouver.

2° Que cette attraction fût supprimée au moment du passage du pendule à la verticale, pour ne recommencer qu'au moment de son oscillation descendante.

3° Que le pendule pût exercer *à distance* son effet sur le commutateur.

Voici comment M. Foucault a résolu ces différentes exigences dans l'appareil installé par lui à l'exposition universelle de 1855.

Son pendule consistait dans un long fil d'environ 11 mètres de longueur terminé par une grosse boule de fer, doux de 20 centimètres de diamètre. Ce fil était solidement

fixé par une pince à la voûte de pierre du pavillon nord-ouest de l'exposition, et pouvait par sa torsion se prêter aux déviations de la masse oscillante, ou plutôt, comme je l'ai déjà dit, au mouvement circulaire opéré par le support, par suite de la rotation du globe. Au-dessous de ce pendule, se trouvait une table circulaire, divisée en 360 degrés qui pouvait aisément servir à constater les différentes déviations du plan d'oscillation du pendule. Enfin, au centre de cette table, était disposé l'appareil rhéotomique que nous avons décrit, page 296, 1er vol. Avec ce système, la force électro-magnétique qui est rayonnante pouvait exercer son effet sur la masse oscillante, quelle que fût sa direction; et cette réaction ne pouvait influencer en rien cette direction. De plus, ce rhéotome n'était mis en jeu qu'au moment seul des oscillations descendantes. Le mouvement du pendule se trouvait donc ainsi entretenu d'une manière permanente, bien que celui-ci pût conserver sa complète liberté.

Le pendule que nous venons de décrire étant d'une grande dimension, le fil qui soutenait la boule pouvait se tordre pendant longtemps sans réagir sur la masse qu'il supportait; mais dans des pendules de plus petite dimension, ce mode de suspension ne serait pas toujours efficace. Dans ce cas, je crois qu'il faudrait avoir recours à une suspension sur pointe, dans le genre de celle que nous avons représentée fig. 20, pl. VIII. Cette suspension consisterait dans un support rigide ABC solidement boulonné à la voûte d'une chambre, ou même sur une traverse rigide soutenue sur quatre colonnes. L'extrémité C en cône de ce support, serait en agate ou en acier trempé, parfaitement poli sur son contour supérieur *a b*, et un autre cône creux, également d'acier trempé D *c* E à travers lequel passerait la tige amincie du support, reposerait sur ces rebords *a*, *b*. Un cadre DFGHE serait ensuite adapté au cône creux

D *e* E, et servirait de support mobile au pendule. On comprend facilement qu'avec cette disposition, le cône creux peut se déplacer indéfiniment dans le sens de la déviation du pendule, sans influencer en aucune façon ses mouvements.

M. Regnard a combiné dernièrement un nouveau système de rhéotome pour l'entretien du mouvement de pendule de M. Foucault. Nous en parlerons dans les appendices qui seront prochainement ajoutés au premier volume de cet ouvrage.

Sphéromètre électro-magnétique. — Les sphéromètres sont, comme on le sait, des instruments à l'aide desquels on peut apprécier des épaisseurs excessivement petites. Ils consistent dans une vis micrométrique terminée par une pointe, et munie d'un cercle divisé mobile devant une règle également graduée dans un sens perpendiculaire au plan du cercle. L'inconvénient immense de ce genre d'instrument est l'impossibilité dans laquelle on se trouve, d'apprécier exactement l'instant où la pointe de la vis micrométrique touche la surface supérieure de l'objet que l'on soumet à l'expérience. Si on serre la vis plus qu'il ne convient, ce dont on ne s'aperçoit pas en raison de la puissance de l'action du serrage, comparativement à la résistance qui lui est opposée, on fait pénétrer la vis dans l'objet, où tout au moins on l'affaisse; on n'obtint donc pas une mesure exacte. J'ai pensé qu'en faisant intervenir l'électricité, cet agent si docile, et en même temps si sensible, on pourrait apprécier exactement le point où se fait ce contact. Voici comment je dispose l'appareil.

L'extrémité de la vis micrométrique est munie d'un manchon d'ivoire portant, articulée sur pointes, une petite plaque de platine légèrement bombée. Cette petite plaque est destinée à être appuyée sur l'objet, et son épaisseur a été préalablement déterminée d'une manière rigoureuse.

Un fil en rapport avec cette plaque aboutit à un électro-aimant dont l'armature fait mouvoir une détente d'embrayage ayant pour but d'enrayer, à un moment donné, une roue à dents pointues. Cette roue est en rapport de mouvement avec la vis micrométrique; mais quand celle-ci a fait un tour, la roue d'embrayage en a fait au moins dix. De plus, la détente se trouve tellement rapprochée de cette dernière roue, que le moindre mouvement opéré par l'armature suffit pour la faire enrayer; enfin, l'un des pôles d'une pile de Daniell très-faible, aboutit à la monture de la vis micrométrique, tandis que l'autre pôle est en rapport direct avec l'électro-aimant.

D'après cette description, on comprend facilement le jeu de l'appareil; quand la plaque de platine articulée sur le manchon d'ivoire de la vis micrométrique est appuyée sur l'objet à mesurer, on tourne la vis, et au moment même où sa pointe garnie de platine vient rencontrer la lame métallique, un courant électrique est fermé à travers l'électro-aimant qui commande la détente d'embrayage; alors la vis micrométrique se trouve arrêtée dans son mouvement, et le chiffre du cercle divisé, situé vis-à-vis la règle perpendiculaire, donne la valeur de l'épaisseur de l'objet, plus l'épaisseur de la lame de platine. Il devient donc facile, par une simple soustraction, de résoudre le problème.

Ce système peut s'adapter aux comparateurs et à tous les instruments du même genre.

Photomètre électrique de M. Masson. — La photométrie, à proprement parler, est l'art de mesurer avec exactitude les diverses intensités lumineuses, soit qu'elles proviennent directement de foyers lumineux différents, soit qu'elles proviennent de la réflexion ou de la réfraction des rayons émanés de ces foyers. Bouguer et Huygens sont les premiers qui se sont occupés de cette question physique si

importante pourtant dans les arts. Depuis, MM. Ritchie, Rumfort, Arago ont cherché à perfectionner les appareils photométriques, et dernièrement encore MM. Babinet et Claude Bernard ont proposé des photomètres industriels d'un usage très-facile dans les diverses industries où il en est besoin. Pourtant, tous ces appareils ont un inconvénient immense quand on veut les appliquer aux recherches scientifiques, c'est de ne pouvoir s'approprier aux lumières colorées et de ne pas fournir un terme de comparaison, une unité fixe à laquelle on puisse rapporter les diverses intensités lumineuses que l'on observe. Or, c'est ce à quoi est parvenu M. Masson dans son photomètre électrique.

Cet appareil est fondé sur ce principe : qu'un disque de papier sur lequel on a tracé des secteurs noirs et blancs d'égale dimension, paraît d'une teinte uniforme et grisâtre lorsqu'on le fait tourner avec une rapidité suffisante devant une lumière blanche permanente. Au contraire, tous les secteurs noirs et blancs paraissent distincts quand, étant mis en mouvement, on les éclaire avec une lumière instantanée, l'étincelle électrique, je suppose.

Ce principe étant établi, voyons comment M. Masson a pu l'utiliser à la mesure des intensités lumineuses.

Admettez, dit M. Masson, que le disque déjà éclairé par une lumière fixe, se trouve subitement illuminé par une lumière instantanée (l'étincelle électrique), on verra, pour une intensité convenable de cette dernière, apparaître les secteurs au milieu de la teinte grisâtre. Si l'on affaiblit successivement la lumière instantanée, il arrivera un moment où les secteurs disparaîtront et le disque paraîtra éclairé d'une manière uniforme. Dans ce cas, la lumière instantanée est une fraction de la lumière permanente variable avec l'œil de l'opérateur, mais invariable pour un même œil, les circonstances de vision restant les mêmes. Quant au rapport entre l'intensité de la lumière de l'étin-

celle et celle de la lumière fixe, il dépendra des dimensions des secteurs noirs et blancs.

Maintenant, qu'on suppose constante l'intensité de la lumière électrique fournie par l'étincelle, et la chose est possible, comme nous le verrons bientôt : il résultera des principes précédents, que pour apprécier l'intensité d'une lumière, il suffira de l'exposer devant le disque photométrique et de la disposer par rapport à l'étincelle jusqu'à ce que l'apparition des secteurs noirs et blancs, duc à la lumière de celle-ci, ait cessé complétement. Comme cette disparition est subite, il ne peut y avoir d'incertitude à cet égard, et c'est ce qui fait encore un des avantages de cet appareil. En ce moment-là l'intensité des deux lumières est égale, comme on le comprend aisément. Par conséquent, il suffit de voir les rapports de position entre les deux lumières, eu égard au disque, pour avoir le chiffre du rapport photométrique qui existe entre la lumière dont on veut apprécier l'intensité et celle de l'étincelle électrique supposée d'une valeur constante. Voici comment M. Masson a disposé son appareil :

Dans une première chambre est intallée la machine électrique qui doit fournir l'étincelle. Elle est mise à portée d'un condensateur à surface plane, lequel est interposé entre deux armures ou plateaux métalliques dont les supports suffisamment garnis de matière isolante traversent la cloison de la chambre pour aboutir dans une seconde chambre tendue tout entière en noir mat. Ces supports, par l'intermédiaire de conducteurs, peuvent donc transmettre dans cette chambre l'étincelle du condensateur, sans qu'aucunes causes accidentelles (soit réflexions, soit dérivations) puissent en troubler la valeur lumineuse.

A portée de ces supports qui représentent ainsi les deux armures du condensateur, se trouve disposé un établi sur lequel sont montés, directement l'un au-dessous de

l'autre, deux longs cylindres mis en communication avec les deux armures du condensateur et traversés dans leur longueur par une rigole remplie de mercure. Entre ces cylindres peut circuler, sur un chemin à rainure et devant une règle graduée en millimètres, un chariot qui est mis en mouvement par une chaîne de Vaucanson engrenée à une manivelle. Ce chariot porte lui-même un excitateur, et les deux branches de cet excitateur, montées sur des colonnes de verre, sont en rapport avec les rigoles remplies de mercure, par un conducteur recourbé. Il résulte de cette disposition de l'appareil, que l'étincelle du condensateur peut être portée d'un bout à l'autre de l'établi et que son déplacement peut être apprécié à une petite fraction de millimètre près.

Des deux branches de l'excitateur, l'une est mobile et fait partie d'un système *mycrométrique* au moyen duquel on peut estimer, de la manière la plus rigoureuse, la distance d'explosion de l'étincelle.

Le photomètre proprement dit consiste dans un disque de papier épais, de huit centimètres de diamètre, sur lequel ont été tracés soixante secteurs noirs et blancs, et qui peut, au moyen d'un mécanisme d'horlogerie, exécuter deux cents à deux cent cinquante tours par seconde. Il est placé diagonalement à l'une des extrémités de l'établi, de manière à se présenter à la fois sous le même angle à l'étincelle électrique et à la lumière fixe qui est placée dans une boîte obscure, et qui peut être, comme l'étincelle avancée ou reculée sur un chemin à rainure, placé perpendiculairement au premier.

Il va sans dire que toutes les parties de cet appareil doivent être soigneusement recouvertes de peinture d'un noir mat, afin d'éviter la réflexion et que, dans l'expérience, il faut qu'on ait soi-même la tête enveloppée dans un capuchon de laine noire.

La manœuvre de l'appareil est facile à exécuter. Il ne s'agit pour cela que d'avancer ou de reculer le chariot de l'excitateur ainsi que celui de la lumière fixe dont on veut apprécier l'intensité, jusqu'à ce qu'on ait atteint la limite d'apparition des secteurs sur le photomètre. Cette double course est nécessaire, car une lumière dont la position serait fixe, et qui serait trop vive pourrait empêcher l'illumination par l'étincelle, même quand celle-ci est le plus rapprochée possible du photomètre. En éloignant alors la lumière on rend possible l'expérience; et, comme les distances sont marquées, il est facile de les faire intervenir dans le calcul. Quand donc la limite d'apparition des secteurs a été obtenue, il ne s'agit plus que d'examiner les distances des deux foyers lumineux par rapport au photomètre, et l'on obtient un rapport qui, comparé à l'unité photométrique, donne le véritable chiffre de l'intensité lumineuse que l'on cherche.

Dans ce système l'unité peut être arbitraire, mais le terme de comparaison est toujours fixe, car il est évident que les secteurs disparaîtront toujours pour une même quantité de lumière fixe. Les rapports exprimés en millimètres pourront donc être réduits à un même dénominateur et exprimer, sans qu'il soit besoin d'un type de lumière, une quantité plus ou moins grande d'une même fraction.

En opérant dans les conditions d'exactitude les plus avantageuses, et en prenant pour lumière fixe celle d'une lampe carcel bien réglée, M. Masson s'est assuré que l'intensité de la lumière d'une étincelle électrique, produite par la décharge d'un condensateur dans des conditions constantes était invariable, quelque temps, d'ailleurs, qu'on fût à le charger.

C'est à l'aide de ce photomètre que M. Masson a pu reconnaître les lois suivantes, qui sont très-importantes :

1° L'intensité de la lumière électrique varie en raison inverse du carré des distances de cette lumière aux surfaces éclairées;

2° L'intensité de l'étincelle varie proportionnellement aux surfaces des condensateurs et en raison inverse de leurs épaisseurs.

Les applications du photomètre électrique sont nombreuses. Possédant une lumière électrique constante, on pourra étudier, comme nous l'avons dit, les rapports des intensités des lumières fixes et aborder la question économique de l'éclairage, question non moins importante pour une grande ville que celle de la distribution des eaux. Ayant déterminé l'unité photométrique, la solution des grandes questions de photométrie météorologique telle que la mesure des intensités lumineuses des astres, des éclairs, des étoiles filantes, des bolides, etc., deviendra possible; on pourra comparer les intensités de la lumière solaire à diverses époques du jour, de l'année, et trouver le pouvoir absorbant de l'atmosphère. On pourra encore calculer l'absorption de la lumière par les différents milieux, ainsi que l'intensité des lumières réfléchies ou transmises. Enfin, les modifications que peut facilement subir le photomètre, donnent l'espoir de mesurer les intensités des différents rayons de la lumière décomposée par les prismes de différente nature.

Actinomètre électrique de M. Ed. Becquerel. « Cet appareil, dit M. Ed. Becquerel[1], a pour objet de manifester les courants électriques dus à l'action chimique de la lumière, et est fondé sur ce principe que, si l'on place sur une lame de platine ou d'or un composé tel que du chlorure d'argent, l'iodure d'argent, etc., qui se décompose par l'action des rayons solaires, la réaction chimique qui a lieu donne naissance à un courant électrique accusé par

1. Extrait d'une lettre de M. E. Becquerel à M. Th. Du Moncel.

un galvanomètre, si l'appareil est convenablement disposé.

« J'ai étudié de cette manière, continue M. Becquerel, les effets électriques obtenus en prenant différentes substances impressionnables; mais celle qui a le plus souvent servi à mes expériences est précisément celle qui reproduit les couleurs des rayons lumineux actifs. Comme cette substance (qui n'est autre chose que du chlorure d'argent ou chlorure violet) est une espèce de *rétine* artificielle, j'ai pensé que dans l'actinomètre, elle serait sensible dans les mêmes conditions que la rétine et pourrait servir à étudier les actions des rayons différemment réfrangibles.

« En effet, cet appareil pour les rayons lumineux est analogue à la pile thermo-électrique pour les rayons calorifiques. La substance sensible est aussi impressionnable entre les mêmes réfrangibilités que la rétine, et dans le spectre lumineux le maximum d'action a lieu au point où se trouve le maximum de lumière; seulement l'intensité des courants électriques produits n'est pas proportionnelle à l'intensité de l'action lumineuse, et ce n'est que par des moyens purement physiques que l'on peut se servir de l'appareil comme de photomètre. Ces moyens physiques sont de plusieurs genres : par exemple, on peut au moment des différentes expériences faire varier l'intensité du faisceau lumineux actif jusqu'à ce que le courant électrique ait acquis la même intensité; alors les rapports des faisceaux lumineux dans leurs conditions propres, peuvent facilement s'en déduire.

« Ainsi dans certaines conditions on peut employer cet appareil pour étudier les effets du rayonnement lumineux, de même qu'on emploie la pile thermo-électrique pour étudier le rayonnement calorifique. Mais il ne faudrait pas croire qu'il puisse être appliqué immédiatement à l'étude

des variations diurnes de la lumière du jour, car il est d'une manœuvre délicate; c'est plutôt un instrument destiné à des recherches scientifiques très-précises qu'un appareil de météorologie. Cependant peut-être pourra-t-on plus tard en faire l'application à cette partie importante de la physique que vous étudiez avec tant de persévérance. »

Calendrier perpétuel électro-magnétique. — On a construit depuis longtemps des horloges à calendrier qui pouvaient indiquer les jours de la semaine et les quantièmes des différents mois sans qu'il fût besoin d'y toucher en aucune manière. Ces horloges auraient donc été de la plus grande utilité si leur prix élevé ne les avait pas rendues inabordables dans le commerce. Pour obvier à cet inconvénient j'ai pensé à faire réagir électriquement les pendules ordinaires que chacun a chez soi sur un mécanisme tout à fait indépendant, susceptible de fournir les indications du calendrier perpétuel. Cet appareil se compose de trois parties : 1° du mécanisme du calendrier proprement dit représenté fig. 3, pl. X; 2° du mécanisme électro-magnétique superposé au mécanisme précédent et représenté fig. 1; 3° du commutateur transmetteur adapté à la pendule et représenté fig. 4.

Mécanisme du calendrier. — Trois roues A, B, C, fig. 3, portant chacune sur leur axe de rotation une aiguille indicatrice, sont placées parallèlement l'une à côté de l'autre à une distance suffisante pour que les cadrans sur lesquels se meuvent les aiguilles soient de grandeur convenable. La roue du milieu porte latéralement sur sa circonférence 31 chevilles d'acier correspondant aux 31 jours qui composent les plus longs mois. La roue de droite C, qui doit fournir les indications des différents jours de la semaine, en porte sept, et la roue de gauche A, qui doit indiquer les mois, en porte douze. Une grande bascule A B, fig. 1, articulée en D, fig. 1

et 3, près de l'axe d'oscillation de la roue du milieu B, peut se trouver entraînée quand elle est abandonnée à elle-même par son bras D B, qui est plus pesant que le bras D A. Mais l'étendue de sa course est limitée par une roue de compte R, fig. 3, placée au-dessous d'elle et découpée de manière à augmenter ou à raccourcir cette course dans le rapport de la longueur des mois; deux crochets d'encliquetage C, F, fig. 1, adaptés latéralement sur le bras B D de cette bascule, et que l'on distingue mieux dans la fig. 5 qui représente cette partie de la bascule vue de côté, peuvent réagir simultanément sur les chevilles de la roue des quantièmes et sur celles de la roue des jours de la semaine; de sorte que pour chaque abaissement de la bascule une cheville de ces deux roues s'abaisse en même temps et la position de ces roues se trouve maintenue après cet échappement par les étoiles *a*, *b*.

La roue des quantièmes en outre de ses chevilles porte cinq doigts *c*, *d*, *e*, *f*, *g* dont l'un *f* est destiné à faire échapper la roue du mois A après un tour complet accompli par la roue B. Les autres sont destinés à réagir sur la roue de compte R, qui à cet effet porte sur sa surface inférieure 12 chevilles (correspondant aux 12 mois) dont cinq d'entre elles *h*, *i*, *j*, *k*, *l*, traversent la roue pour se présenter sur sa surface supérieure. Ces cinq chevilles, qui correspondent aux mois d'avril, de juin, de septembre, de novembre et de février, sont au-dessous de la roue R plus courtes que les sept autres, et la cheville *h*, du mois de février, dépasse en hauteur les chevilles *i*, *j*, *k*, *l*, par rapport à la surface supérieure de la roue R.

Le cliquet *g* de la roue des quantièmes est assez élevé au-dessus des autres pour ne rencontrer dans sa révolution que la cheville *h*; le cliquet *e* est de hauteur suffisante pour atteindre les quatre chevilles *i*, *j*, *k*, *l*; le cliquet *d* correspond aux chevilles les plus longues du dessous de la roue,

enfin le cliquet *c* n'est appelé à rencontrer que les chevilles les plus courtes du dessous de cette même roue, qui sont, comme nous l'avons dit, les prolongements des chevilles *h*, *i*, *j*, *k*, *l*.

En outre de ces chevilles la roue de compte R porte encore un doigt *r* et une petite roue de 4 dents *u* (fig. 5 *bis*), retenue par une étoile d'encliquetage. Ce doigt *r* est destiné à réagir sur une deuxième petite roue de quatre dents *s* fixée sur un pont et munie d'une palette *t*. De cette manière, à chaque révolution de la roue R cette petite roue saute d'une dent. La petite roue *u* a une de ses dents rognée, et doit échapper sous l'influence d'un doigt *z* fixé sur le pont de la roue C. Tout ce dernier système mécanique se rapporte aux années bissextiles.

La partie de la roue de compte R qui doit limiter les chutes de la bascule A B, suivant la longueur des mois, se compose d'un disque épais muni de cinq fentes correspondant aux cinq mois qui n'ont pas 31 jours et dont l'une (la plus profonde) correspond au mois de février ; elle est taillée en cercle pour que le butoir E en tombant décrive son arc de cercle sans opposition, et la roue *s* des années bissextiles doit être placée par rapport à cette fente de manière à ce que la palette *t* dans une de ses quatre positions se place devant elle. On comprendra maintenant facilement le jeu de ces différents mécanismes.

Supposons que nous soyons au mois d'octobre. Ce mois ayant 31 jours la roue de compte présentera devant le butoir E de la bascule A B une partie pleine de son disque entaillé. Toutes les chutes journalières de cette bascule n'auront donc pour effet que de faire échapper une seule dent de la roue des quantièmes. Comme le mois a 31 jours, le cliquet *d* sera seul à la fin du mois à réagir sur la roue de compte, et celle-ci avancera d'un douzième de sa révolution. Toutefois ce déplacement n'aura pas changé les conditions

de chute de la bascule, il n'aura servi qu'à préparer la roue de compte pour une prochaine réaction plus compliquée, que nous étudierons à l'instant, parce que le mois de novembre a 30 jours. En même temps que cet échappement de la roue R a eu lieu, la roue A est avancée d'une dent, et le mois de novembre se trouve désigné sur le cadran correspondant. Pendant toute la durée de ce mois toutes les chutes journalières de la bascule se font comme à l'ordinaire; seulement, quand le 30 du mois arrive, le cliquet *e* se trouve à portée d'une des chevilles *i*, *j*, *k*, *l*, et au moment même de l'échappement elle fait avancer une des entailles de la roue R devant le butoir E de la bascule. La chute de cette bascule étant alors plus grande qu'elle ne l'est à l'état normal, deux dents de la roue des quantièmes échappent à la fois sans pour cela que la roue C avance plus qu'il ne convient, car cette chute est trop petite pour faire échapper deux dents de cette dernière roue. L'aiguille peut être momentanément déviée au delà du jour désigné, mais l'étoile d'encliquetage la ramène bientôt à sa place. Par suite du double échappement de la roue des quantièmes, l'aiguille indicatrice se trouve donc pointée sur le 1er décembre, et le doigt *d* n'a pu remplir aucune fonction car la cheville de la roue R sur laquelle il aurait dû agir est trop raccourcie pour qu'il puisse l'atteindre; en revanche le doigt *c* qui est en arrière peut, le lendemain, au moment de la chute de la bascule, rencontrer cette cheville raccourcie et faire de nouveau avancer la roue R en reportant devant la bascule une partie pleine du disque de compte. Alors toutes les fonctions de l'appareil se renouvellent dans le cours de ce mois et de celui de janvier, comme nous l'avons indiqué pour le mois de septembre. Au 28 février le cliquet *g* de la roue B se trouve placé à portée de la cheville *h*, et, au moment où la bascule tombe, elle rencontre devant elle la grande entaille qui s'y trouve amenée par l'effet de l'é-

chappement même. Le butoir E de la bascule s'enfonce donc dans cette entaille, et fait échapper trois ou quatre dents de la roue des quantièmes suivant que la palette *t*, portée par la roue à quatre dents *s*, se trouve ou non placée au-dessus de l'entaille, c'est-à-dire suivant que l'année est bissextile ou non bissextile. De cette manière l'aiguille indicatrice se trouve reportée au 1er du mois de mars.

Le jeu de mécanisme des années bissextiles dépend uniquement de la roue R. Comme cette roue fait un tour sur elle-même dans l'espace d'une année, le doigt *r* qu'elle porte fait sauter une dent de la roue *s* chaque année. Tous les quatre ans la palette *t* revient par conséquent à la même place, c'est-à-dire devant l'entaille du mois de février s l'appareil a été réglé en conséquence. Comme dans ce cas la roue B se trouve en retard d'une dent, il faut, pour qu'il n'y ait pas de perturbation exercée sur la marche subséquente de l'appareil, que ce retard soit reproduit sur la roue R par une action secondaire, et c'est à cet effet qu'a été disposée la seconde roue de quatre dents *u* et le doigt *z*. Cette petite roue est disposée de manière à réagir au lieu et place de la cheville *h* du mois de février, dont nous avons essayé, pour plus de clarté, de faire comprendre les fonctions. On conçoit d'ailleurs que l'effet de la roue *u* ou de la cheville *h* est exactement le même par rapport au doigt *g*, puisque les dents de la roue *u* peuvent être aussi hautes que la cheville *h* et présenter la même rigidité lorsqu'elles sont touchées dans le sens diamétral de *y* en *x*, fig. 5 *bis*. Il résulte de cette disposition que le doigt *g*, suivant qu'il rencontre en *y* une des trois dents pleines de la roue *u* ou la dent coupée, fait avancer la roue R de deux crans ou d'un seul cran; or, comme chaque année une dent de cette petite roue échappe en passant devant le doigt fixe *z*, il arrive que la dent coupée se présente devant le doigt *g* précisé-

ment en même temps que la palette *t* de la roue *s* se présente devant l'entaille du mois de février.

Tel est le mécanisme du calendrier perpétuel. Nous allons maintenant étudier le mécanisme électro-magnétique qui le met en action.

Mécanisme électro-magnétique. — Ce mécanisme, représenté fig. 1, n'est qu'un simple remontoir analogue à celui que j'ai décrit page 323, 1er vol. Seulement la détente et le cliquet du remontoir fonctionnent sous l'influence d'un même électro-aimant droit M. En conséquence cet électro-aimant a deux armatures G H, I J qui sont aimantées. L'armature I J par l'intermédiaire d'une tige K L réagit sur un compas N O L et celui-ci en appuyant par sa branche N sur l'axe de la roue à rochet X, lequel axe est mobile dans l'entaille allongée N, dégage un pignon que cet axe porte, de la crémaillère Y Z. Celle-ci se trouvant désengrenée est entraînée par les contre-poids de la branche D B de la bascule, et celle-ci fait marcher les mécanismes que nous avons décrits précédemment. Ainsi l'armature I J est l'armature de détente.

Le cliquet qui agit sur la roue à rochet X du remontoir est un cliquet articulé du genre de ceux que nous avons décrits page 337, 1er vol. ; il est mis en mouvement par l'armature G H.

L'appendice Z, le ressort R, le compas articulé T, le crochet U et la bascule S appartiennent à un système rhéotomique que nous avons décrit avec détail page 306, 1er vol. Ce système est destiné 1° à maintenir la bascule S sur la plaque G pendant le temps du remontage de la bascule A B; 2° à reporter la bascule S sur la plaque P au moment où le remontage est complétement effectué, c'est-à-dire au moment où l'appendice Z, en rencontrant le compas T, abaisse le crochet U et dégage le ressort R.

Enfin V est un second rhéotome analogue à celui décrit page 290, 1er vol., et destiné à prolonger la fermeture du

courant à travers l'électro-aimant M après que la bascule S a quitté la plaque P par suite de la chute de la bascule A B et de l'abaissement du piston W.

La figure 4 représente l'appareil transmetteur appliqué derrière un mouvement de pendule. C est la roue de compte de la pendule; A est un commutateur à renversement de pôles du genre de celui décrit page 269, 1er vol. Ses communications avec l'appareil et la pile sont établies comme on le voit sur la figure; B est un disque d'ivoire porté par l'axe d'une roue qui engrène avec le barillet du mécanisme de la sonnerie. Cette roue porte un nombre de dents double du pignon auquel est adaptée la roue de compte C; par conséquent elle fait un tour sur elle-même en 24 heures; un petit appendice métallique E, qu'elle porte, établit une relation métallique avec la platine de la sonnerie. Un ressort G appuie sur la circonférence du disque B, et sa position par rapport à l'appendice E doit être telle que quand la roue de compte sonne minuit, il vienne immédiatement en contact avec lui. Dans ce même moment une barrette cylindrique H adaptée à la roue de compte passe sous le commutateur et soulève les deux lames du milieu. Enfin un ressort D peut recevoir de la tige du pendule les fermetures de couran nécessaires pour le jeu du remontoir. Voici maintenant ce qui arrive au moment où l'heure de minuit sonne.

Le ressort G rencontrant l'appendice E ferme le courant à travers l'électro-aimant M en le faisant entrer par le fil I et en le faisant revenir par le fil J; l'armature I J (fig. 1) est alors attirée et déclanche la bascule A B, qui a tout le temps d'effectuer sa course puisque le rhéotome V prolonge l'action du courant. Avant que le cran de la roue de compte correspondant à l'heure de minuit ait échappé complétement, la barrette H a soulevé le commutateur, et le courant se trouve renversé à travers le circuit qui cette fois n'est plus complété par le ressort G, puisque la bascule S ne tou-

che plus la plaque P, mais par le ressort D qui, à chaque oscillation du balancier, le ferme complétement. Sous l'influence de ces nouvelles fermetures du courant, l'armature I J se trouve repoussée et l'armature G H entre en fonction et fait marcher le remontoir. Tant que la bascule S reste appuyée sur la plaque Q, c'est-à-dire tant que le jeu du second rhéotome n'a pas reporté cette bascule sur la plaque P, l'appareil fonctionne ; mais quand ce rhéotome a fonctionné, le remontoir est arrêté, et la bascule A B se trouve en position de recevoir le lendemain une nouvelle réaction de la part de la pendule.

La figure 2 représente l'extérieur du calendrier avec ses trois cadrans.

Mesureur électrique à distance. — Ce système qui n'est, comme je l'ai déjà dit, que le diminutif du maréographe électrique que j'ai décrit page 408, 2e vol., peut être utilisé dans une foule de cas, particulièrement pour indiquer la hauteur de l'eau dans les réservoirs d'alimentation d'une grande ville. Avec cet instrument le directeur des eaux d'une ville peut s'assurer à tous moments, sans sortir de son cabinet, de l'état d'approvisionnement de ces réservoirs.

Ce système comporte deux genres d'appareils : un transmetteur et un récepteur. Ce dernier peut être traçant ou simplement à aiguilles ; mais ces appareils sont plus ou moins nombreux suivant le nombre de réservoirs avec lesquels ils doivent être reliés électriquement.

Le transmetteur se compose d'une colonne de bois que l'on place sur le bord de ces réservoirs comme on le voit fig. 12, pl. X, et dont la hauteur est un peu plus grande que la profondeur du réservoir correspondant. Sur cette colonne glisse a frottemement doux un anneau de fer N muni de galets, auquel est adapté un socle de bois X. Sur l'un des côtés de ce socle est fixé un frotteur à piston B qui appuie sur une bande de cuivre appliquée sur la colonne et qui est

coupée transversalement de deux en deux centimètres ou de cinq en cinq, suivant le degré d'approximation que l'on désire obtenir, de manière à constituer un interrupteur. Toutes ces petites plaques sont en relation par des fils avec des petites pointes de cuivre disposées circulairement au-dessous d'un rochet mesureur exactement semblable à celui que nous avons décrit page 409. Enfin le socle de bois A peut être soulevé ou abaissé par l'intermédiaire d'une tringle portée par un large flotteur F qui donne la hauteur de l'eau.

Le récepteur qui se trouve dans le cabinet du directeur ou du contrôleur des eaux est, quand il doit être traçant, exactement semblable à celui que nous avons décrit pour le maréographe, sauf qu'au lieu de deux mécanismes enregistreurs il peut en posséder un plus grand nombre ou même n'en avoir qu'un seul suivant le nombre de réservoirs avec lesquels il est en relation. Quand, au contraire, ce récepteur ne doit être seulement qu'indicateur, il peut consister dans un simple compteur électrique dont le jeu se trouve interrompu sous l'influence d'un électro-aimant mis en rapport avec le mesureur et qui coupe, quand il devient actif, le courant à travers ce compteur. Cet électro-aimant joue, comme on le voit, le rôle de celui qui déclanche la crémaillère dans le récepteur traçant, et doit posséder comme lui un rhéotome. Ce système de récepteur ne fournissant que des indications fugitives, a l'avantage de pouvoir être mis successivement en rapport avec les différents circuits et par conséquent ne nécessite pas la répétition du mécanisme indicateur. Du reste, le jeu des appareils dans ce système de mesureur est exactement le même que celui du maréographe électrique, que le récepteur soit traçant ou à aiguille. Seulement, dans un cas, on obtient la courbe des différents niveaux de l'eau dans les réservoirs, tandis que dans l'autre on n'obtient que l'indication chiffrée de ces hauteurs d'eau à un moment donné.

On voit, en définitive, que ce système de mesureur ne diffère du maréographe qu'en ce que les transmetteurs n'ont qu'un frotteur mobile le long de leur colonne et que le socle de bois qui porte ce frotteur, n'étant astreint à aucun déclanchement électrique, ne nécessite ni crémaillères ni boîtes mobiles électro-magnétiques. Par suite, deux fils seulement suffisent pour relier chaque transmetteur au récepteur. On observera encore que le rhéotome de l'horloge, au lieu de se rapporter au même transmetteur et de ne réagir que sur deux circuits, doit être mis en rapport (pour le récepteur traçant), avec les circuits des différents transmetteurs, de sorte qu'au lieu de deux demi-anneaux il peut posséder 3, 4, etc., secteurs comme le commutateur de l'anémographe électrique que nous avons décrit page 375, 2e vol.

Le mesureur électrique est, comme je le disais, susceptible de nombreuses applications. Pour la mesure des crues d'eau, il fournirait aux ingénieurs des ponts et chaussées chargés de ce soin beaucoup de renseignements utiles, sans qu'ils aient pour cela besoin de sortir de leur cabinet. D'ailleurs, ces appareils pouvant fonctionner à telle distance qu'on veut, on pourrait en aval d'un canal sujet aux inondations être prévenu par leur intermédiaire assez à l'avance pour qu'on eût le temps d'ouvrir les écluses. Enfin, pour les sondages des côtes susceptibles d'ensablements variables, il pourrait fournir des indications qui montreraient leur marche progressive.

FIN DU TOME DEUXIÈME

TABLE DES MATIÈRES

LIVRE III

PLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ.

I

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Pages.

.phe écossais de 1753 2
que des progrès de la télégraphie électrique 5
r télégraphe Wheatstone 9
.phe Steinheil 13
ıction de la télégraphie électrique en France 20

Télégraphes à aiguilles.

ıphes anglais à double aiguille 23
ations apportées à ces télégraphes par M. Gloesener de Liége. 30
.phe à aiguille de M. Bain 33
ıphe à aiguille de M. Henley 36
ıphes à aiguilles de MM. Foy et Breguet 39
ıphe à anciens signaux de M. Breguet 43

Télégraphes à cadran.

ıphes Wheatstone 44
ıphe Breguet 46
ıphe Drescher 54
ıphe Paul Garnier 55

Télégraphe Froment..... 55
Modifications apportées au télégraphe Breguet par Mouilleron..... 57
Manipulateurs des télégraphes à cadran dont les électro-aimants ont des armatures aimantées, système Gloesener..... 58
Système télégraphique de M. Gloesener, au moyen duquel les signaux peuvent être distribués sur 2 ou 3 circonférences concentriques..... 65
Système de télégraphe à cadran dans lequel l'aiguille peut avancer, rétrograder et osciller à la volonté du télégraphiste..... 67
Télégraphe silencieux de M. Breguet..... 68
Télégraphe magnéto-électrique de M. Lippens..... 69
Télégraphe à mouvements synchroniques de MM. Siemens et Halske. 70
Télégraphe du docteur Kramer..... 75
Télégraphe à mouvement synchronique de M. Gloesener..... 76
Télégraphe à écran de M. Régnard..... 77
Télégraphe à chiffres combinés..... 83

Télégraphes écrivants.

Système Morse..... 85
Perfectionnements apportés au télégraphe Morse..... 91
Télégraphe de M. Mouilleron..... 92
Télégraphe écrivant de M. Froment..... 96
Télégraphe écrivant de M. Dujardin..... 98
Modifications apportées au système Morse par M. Gloesener..... *Id.*
Système de M. Régnard..... 103
Télégraphe contrôleur de M. Tremeschini..... 106

Télégraphes électro-chimiques.

Télégraphe de M. Sœmmering..... 108
Télégraphe électro-chimique de E. Davy..... 109
Télégraphe électro-chimique de M. Bain..... 111
Télégraphes Morse électro-chimiques..... 115
Télégraphe chimique de M. Gloesener..... 116
Télégraphe de M. Varley..... 117
Télégraphe autographique de M. Backwell..... 120
Télégraphe autographique de M. Hipp..... 124

Télégraphes auditifs.

Système de M. Mirand..... 125
Systèmes divers..... 128

Télégraphes imprimeurs.

ɔhe imprimeur de M. Th. du Moncel..... 130
ɔhe de M. Vaïl..... 134
ɔhe de M. Bain..... 136
ɔhe de M. Brett..... 137
ɔhe de M. Freitel..... 138
ɔhe de M. Théiler..... 139
ɔhes à double transmission des dépêches..... 133
ION..... 142

II

ICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A LA SÉCURITÉ DES CHEMINS DE FER.

ıt la question doit être posée..... 145

Systèmes télégraphiques.

de M. Cooke..... 148
de M. Regnault..... 155
ɔhe portatif de M. Breguet..... 163
de M. Tyer de Dalton..... 164
de M. Bonelli..... 170
de M. Gay..... 175

Systèmes contrôleurs.

de M. Mauss..... 177
de M. Steinheil..... *Id.*
de M. Breguet..... 181
de M. Maigrot..... *Id.*
de M. Bellemare..... 183

Systèmes automatiques par avertissement.

de M. Du Moncel..... 185
de M. Manuel Fern. de Castro..... 198
du capitaine Guyard..... 204

Systèmes automatiques par arrêt des convois.

de M. Achard..... 210
de M. l'abbé Magnat..... 213

Systèmes particuliers.

Moniteurs d'alarme lors de la disjonction des trains..... 214
Moniteurs pour la vitesse des trains..... 217
CONCLUSION..... 220

III

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE.

Compteurs électro-chronométriques.

Compteurs de M. Paul Garnier..... 227
Compteurs de M. Froment..... 233
Compteurs de M. Breguet..... 236
Compteurs de M. Robert Houdin..... Id.
Compteurs de M. Nollet..... 241
Lanternes-horloges de M. Breguet..... 242
Lanternes-horloges de M. Detouche..... 244
Horloges électriques de M. Jaspar..... 245
Compteurs à l'italienne..... 247
Compteurs de M. Bain..... 250
Interrupteurs électro-chronométriques de M. Foucault..... 251
Système de transmission électro-chronométrique de M. Gloesener. 253

Régulateurs électriques des horloges.

Régulateur de M. Bain..... 254
Régulateurs électro-solaires de M. Th. Du Moncel..... 255
Accélérateurs et retardateurs des horloges types..... 266
Moyen de soustraire les horloges types à l'action perturbatrice des variations de température, proposé par M. Faye..... 267
Conséquences que l'on peut déduire de la disposition des systèmes précédents pour la construction des compteurs électro-chronométriques..... 268
Sonneries à transmission électro-chronométrique..... 269
Sonneries électriques à répétition des heures..... 271
Application des compteurs électriques au règlement des horloges.... 273

Horloges électriques.

Considérations générales sur l'horlogerie, et en particulier sur l'horlogerie électrique..... 274
Horloge électro-magnétique de M. Bain..... 276

de M. Weare..... 279
de M. Liais..... 281
ètre électrique de M. Liais..... 283
lectrique de l'Observatoire de Paris..... 287
lectrique de M. Verité..... 294
lectrique de M. Froment..... 296
de MM. Robert Houdin et Detouche..... 297
lectrique de M. Robert Houdin..... 301
à sonnerie électrique de M. Émile Robert Houdin et
he..... 304
lectrique de M. Paul Garnier..... 306
lectrique de M. Breguet..... 309
lectrique de MM. Mouilleron et Anthoine..... 311
lectrique à sonnerie de M. Royer..... 314
sonnerie de M. Lasseau..... 317
lectrique de M. Grasset..... 319
ıts électriques de l'Observatoire de Paris..... 321
N..... 326

IV

LICATION DE L'ÉLECTRICITÉ AUX OBSERVATIONS SCIENTIFIQUES ET DE PRÉCISION.

pes et chronographes..... 331
pe de M. Wheatstone..... 331
aphe de MM. Breguet et Konstantinoff..... 337
pe de M. Pouillet..... 340
pe de M. Siemens..... 345
pe du capitaine Navez..... 347
pe de M. Hipp..... 353
pe à pointage de M. Breguet..... 353
aphes de M. Martin de Brettes..... 354
pe du baron Wrède..... 366
d'Awood électro-magnétiques..... 366
aphes compteurs..... 367

Enregistreurs et appareils météorologiques.

ètre télégraphe de M. Wheatstone..... 369
eur météorologique de M. Wheatstone..... 370
ètres électriques..... 373
aphe de M. Th. du Moncel..... 374

Anémographe à trois fils 387
Anémographe de M. Jules Salleron 394
Anémographe électrique de M. Wheatstone 399
Barométrographe de M. Liais 400
Application de l'électricité à la lecture des indications barométriques 405
Maréographe électrique de M. Th. Du Moncel 408
Magnétomètre de M. Weber 419

Enregistreurs et appareils astronomiques.

Enregistreur des observations astronomiques 421
Méthode pour faire un catalogue d'étoiles rapidement au moyen des chronographes et micrométrographes électriques 424
Appareils pour déterminer la trajectoire des bolides 425
Application de l'électricité à l'éclairage des divisions et des repères des instruments astronomiques 427

Application de la télégraphie électrique à la météorologie et à l'astronomie.

Suggestion de M. Faye 427
Application de l'électricité à la détermination de la longitude des différents lieux 428
Nouvelle détermination de la longitude entre Paris et Greenwich 431
Nouveau système pour la détermination de la longitude adopté à l'Observatoire de Paris 437
Système de détermination de la longitude d'après M. Thalèn 452
Nouvelle détermination de la différence de longitude entre Paris et Bourges 457
Application de la télégraphie aux observations météorologiques 458

Appareils divers.

Application de l'électro-magnétisme à la marche du pendule pour la démonstration du mouvement de rotation de la terre 461
Sphèromètre électro-magnétique 466
Photomètre électrique de M. Masson 467
Actinomètre électrique de M. E. Becquerel 472
Calendrier perpétuel électro-magnétique 474
Mesureur électrique à distance 481
Table des matières 486

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

ERRATA

ET ÉCLAIRCISSEMENTS

Page 40, ligne 1. — Le renvoi à la fig. 1 doit s'entendre ici de la fig. 14 annexée à la grande fig. 14, dont elle est un détail.

Page 46. — *Télégraphe à cadran de M. Breguet.* Dans la fig. 18 qui représente le récepteur de ce télégraphe, le levier L, qui porte l'armature, a été dévié un peu de sa vraie position, afin qu'on puisse voir la roue d'échappement qui se serait trouvée derrière lui. Il s'ensuit que la fourchette sur laquelle il réagit, et qui commande l'échappement, doit être supposée sous la roue *r*.

Page 49, lignes 11 et 17. — Au lieu de : *G D E, E D C*, lisez : *G D E, E D G.*

Page 232, ligne 24. — Au lieu de : *un petit cadran U U*, lisez : *un petit cadran U U, fig. 1 bis.*

Page 235, ligne 20. — Au lieu de : *répétiteur*, lisez : *répartiteur.*

Page 241, ligne 22. — Supprimer le membre de phrase : *et deux cliquets de retien D D.*

Même page, ligne 28. — Au lieu de : *en même temps le cliquet s'est reporté*, etc., lisez : *en même temps le cliquet C' s'est reporté*, etc.

Page 292, ligne 8. — Au lieu de : *les bascules A B, A' B*, lisez : *A B, A' B'.*

Même page, ligne 14. — Au lieu de : *les boules T T'*, etc., lisez : *les boules F, F'*, etc.

Page 299. — Dans le deuxième alinéa de cette page, toutes les premières lettres avec l'apostrophe ' doivent être considérées comme lettres simples. La même correction doit être apportée aux doubles lettres du premier alinéa de la page 301.

Page 302, ligne 11. — Au lieu de : *la tige A X*, lisez : *la tige A B.*

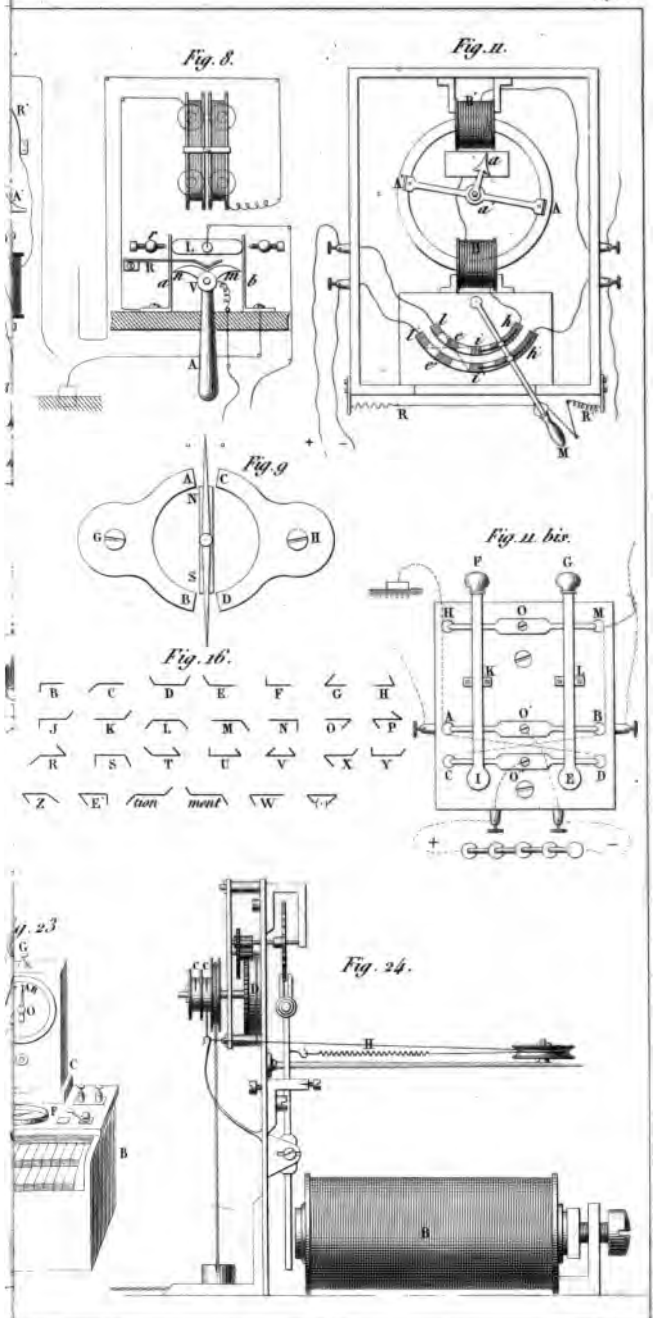
Page 306, lignes 6 et 7. — Au lieu de : *le courant va de* R *en R' de R' en D*, etc., lisez : *le courant va de R' en D.*

Page 312, ligne 13. — Au lieu de : *le cliquet d'impulsion S, fig.* 11, etc., lisez : *le cliquet d'impulsion V, fig.* 11, etc.

Même page, ligne 22. — Au lieu de : *l'électro-aimant M*, etc., lisez : *l'électro-aimant* R, etc.

Page 332, ligne 29. — Au lieu de : (*fig.* 15, *pl. VII*), lisez : *fig.* 1, *pl. VIII.*

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT, 7



Dulos sc.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

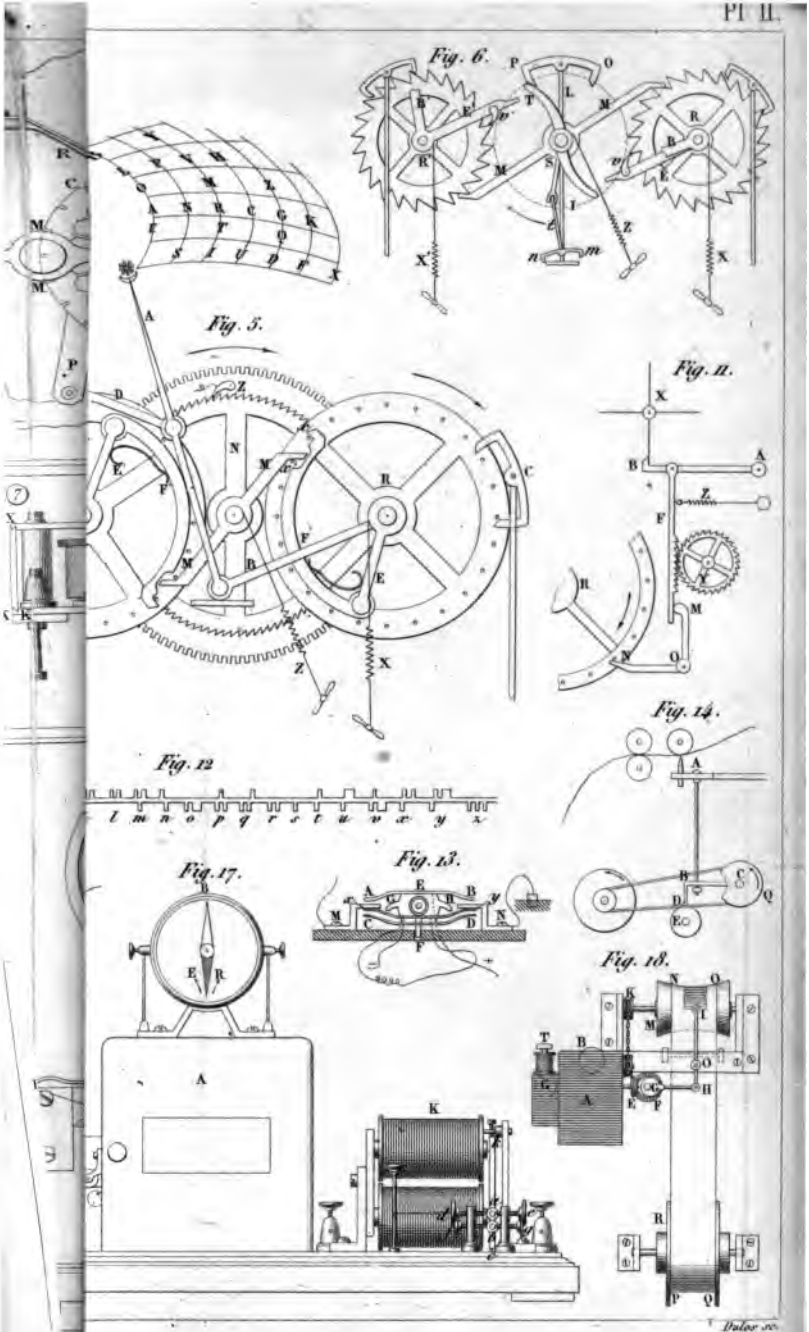


Fig. 6.
Fig. 5.
Fig. 11.
Fig. 14.
Fig. 12
Fig. 13.
Fig. 17.
Fig. 18.
Dalos sc.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

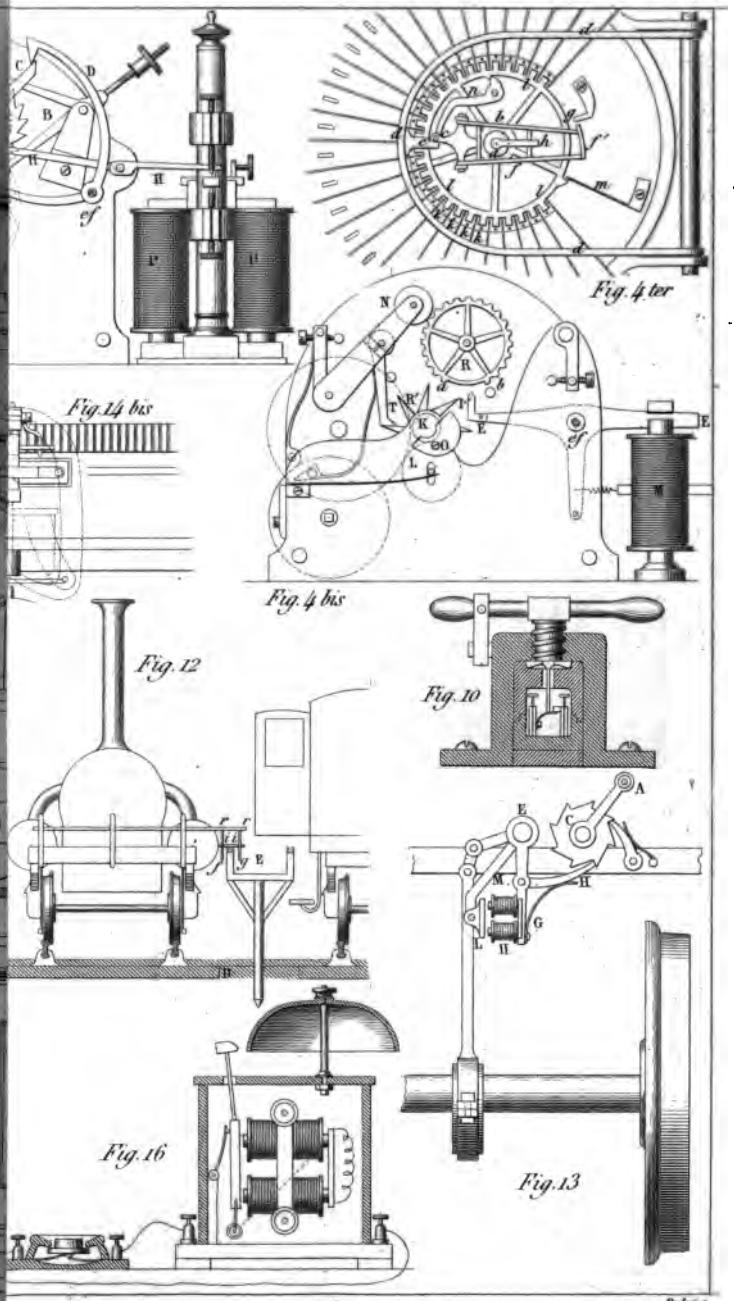


Fig. 14 bis
Fig. 4 ter
Fig. 4 bis
Fig. 12
Fig. 10
Fig. 16
Fig. 13
Dulot d.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

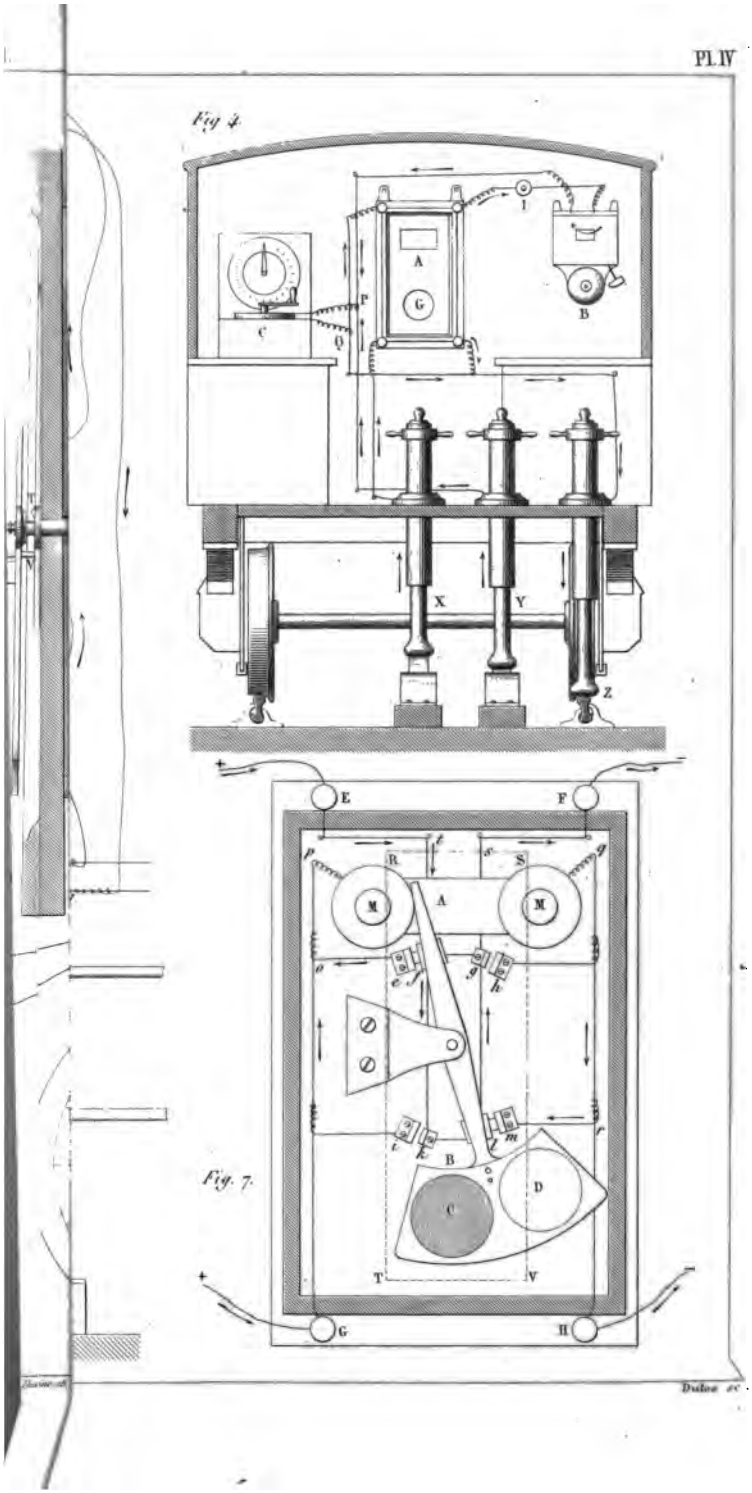
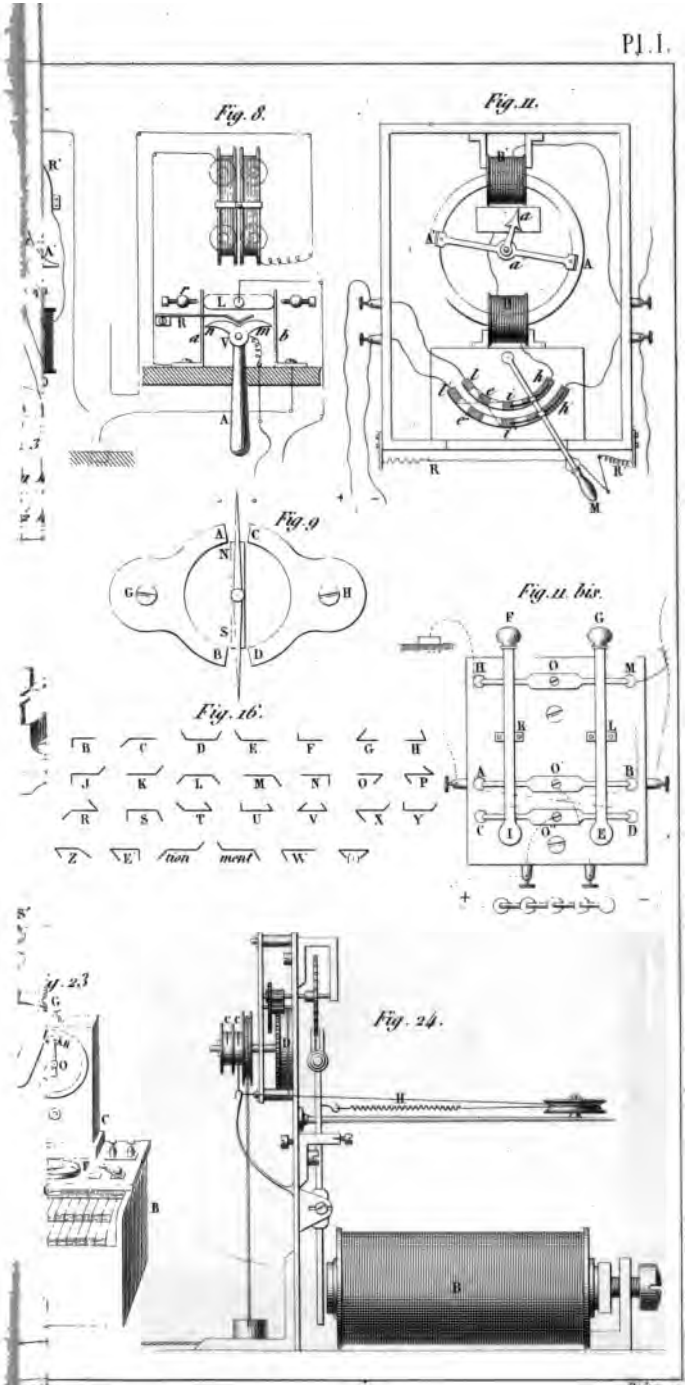


Fig. 4.
A
G
B
C
P
Q
I
X
Y
Z
E
F
R
S
M
M
A
B
C
D
T
V
G
H
Fig. 7.



Dulos sc

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

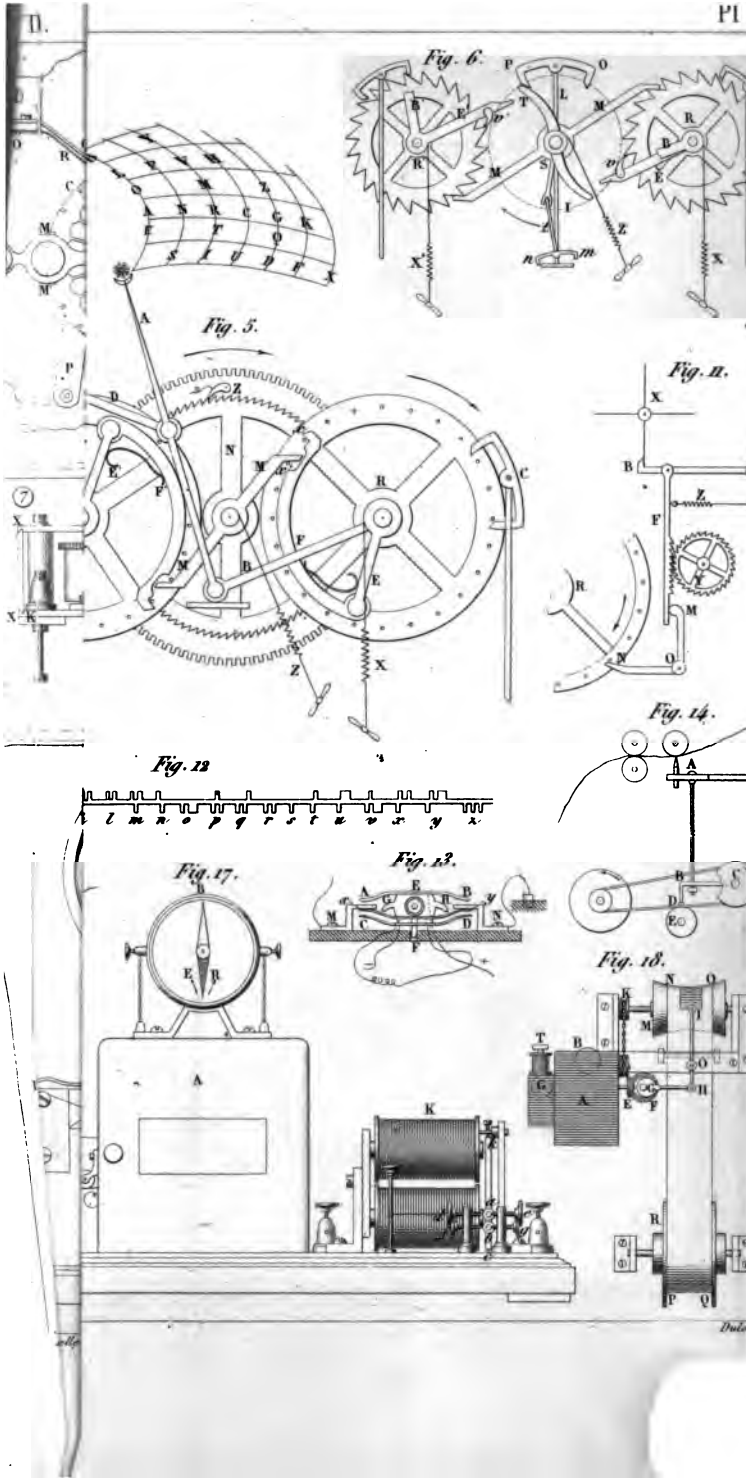
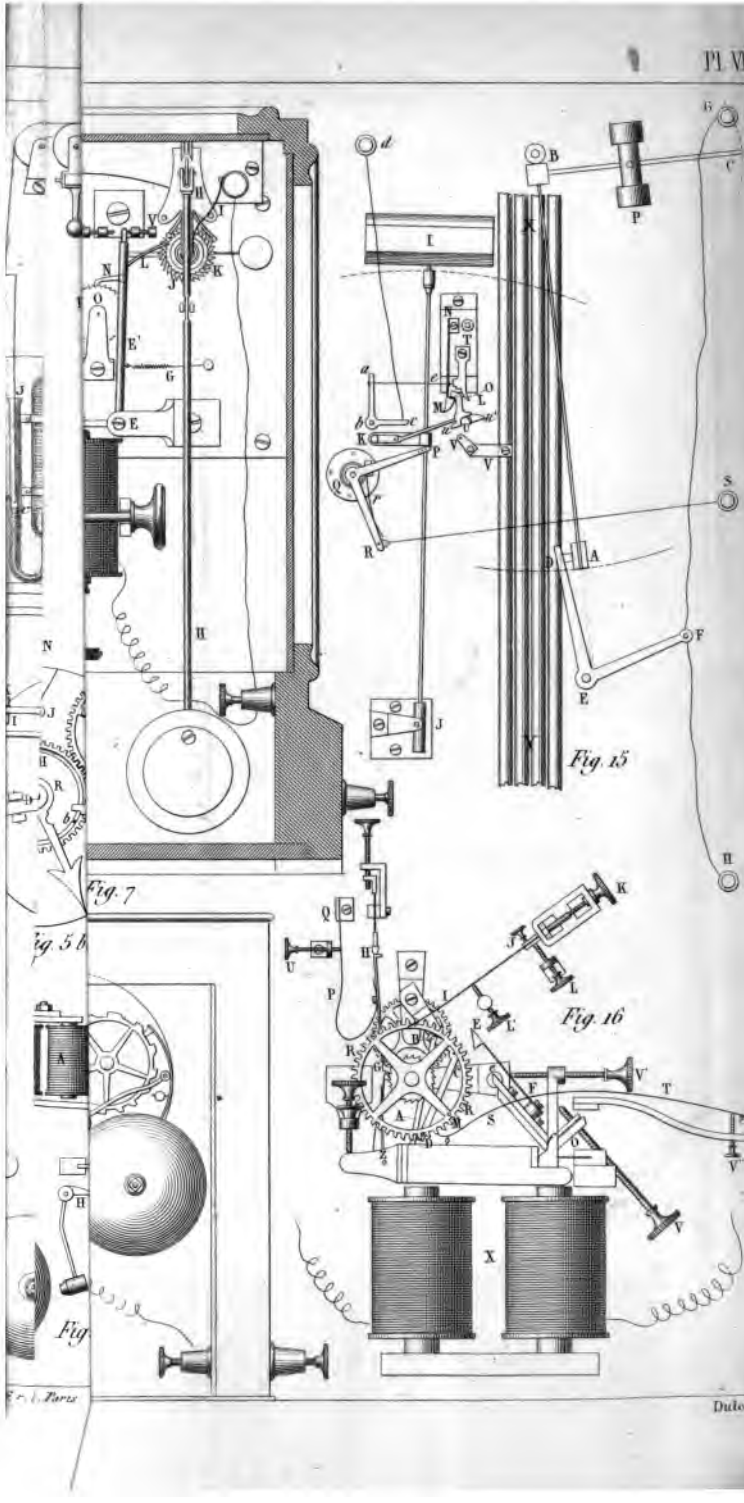


Fig. 6.
Fig. 5.
Fig. 11.
Fig. 14.
Fig. 12
Fig. 13.
Fig. 17.
Fig. 18.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS



Paris
Dulos

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

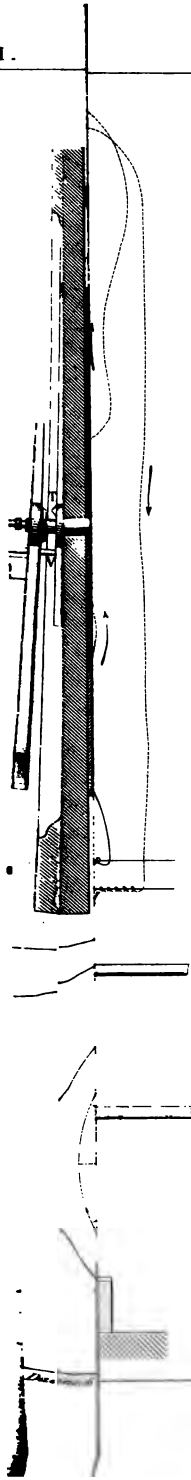
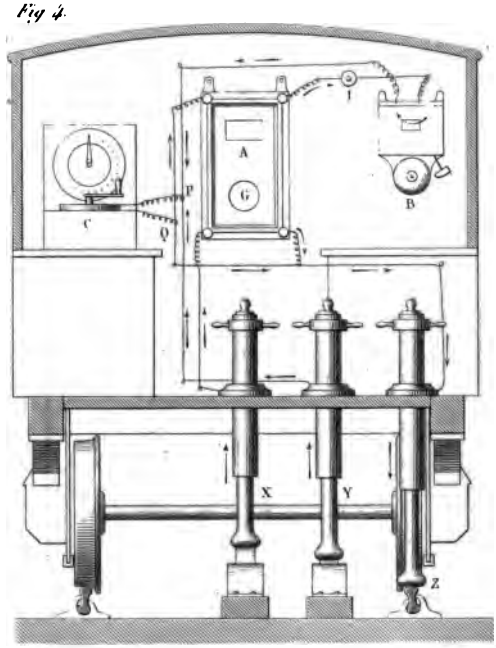


Fig. 4.



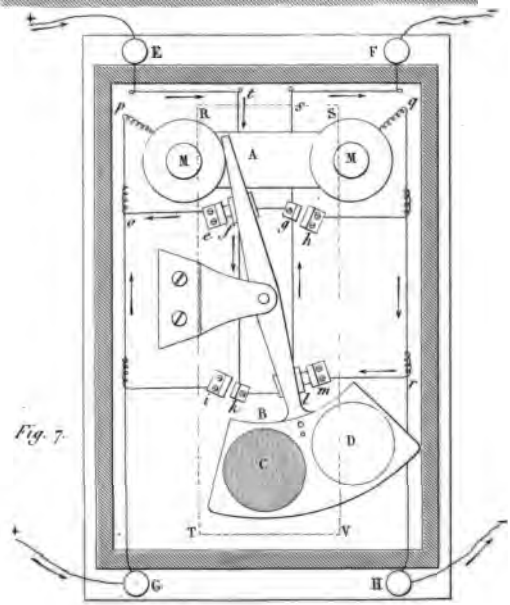
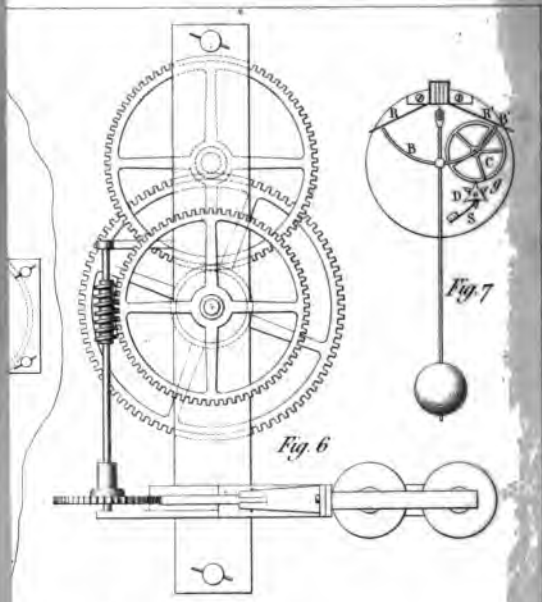
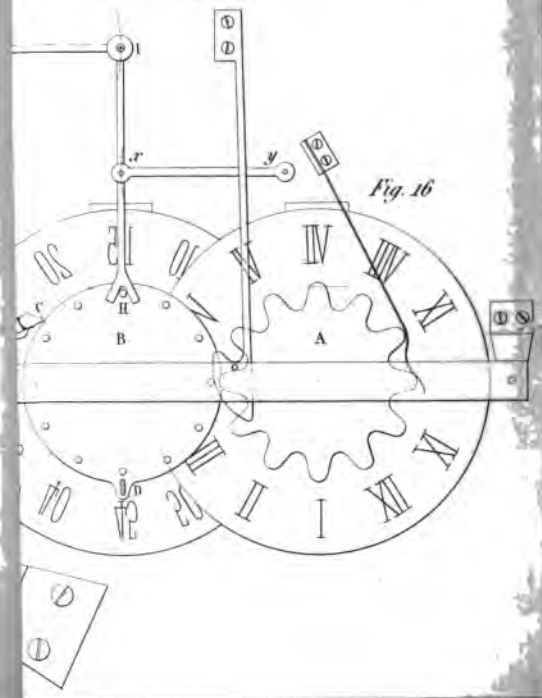


Fig. 7.

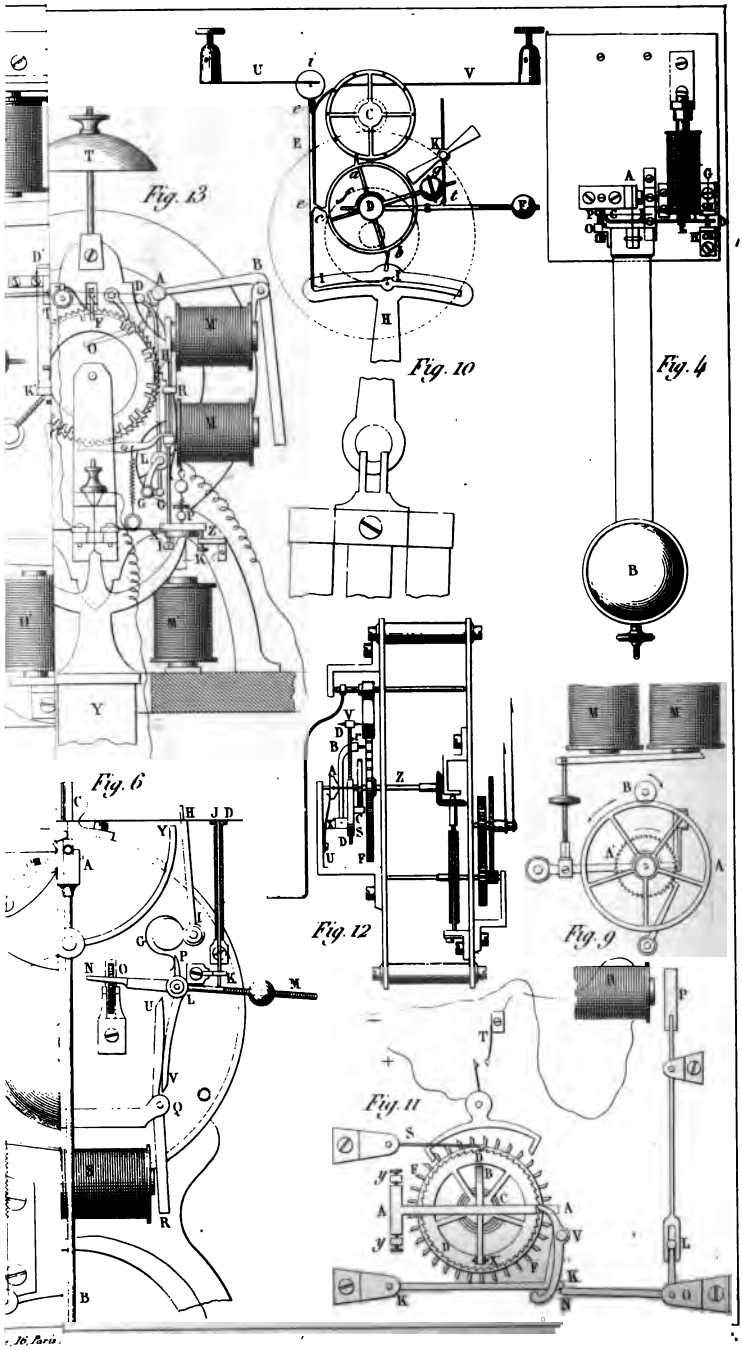




Dulos sc.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS



. 16, Paris.

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND TILDEN FOUNDATIONS

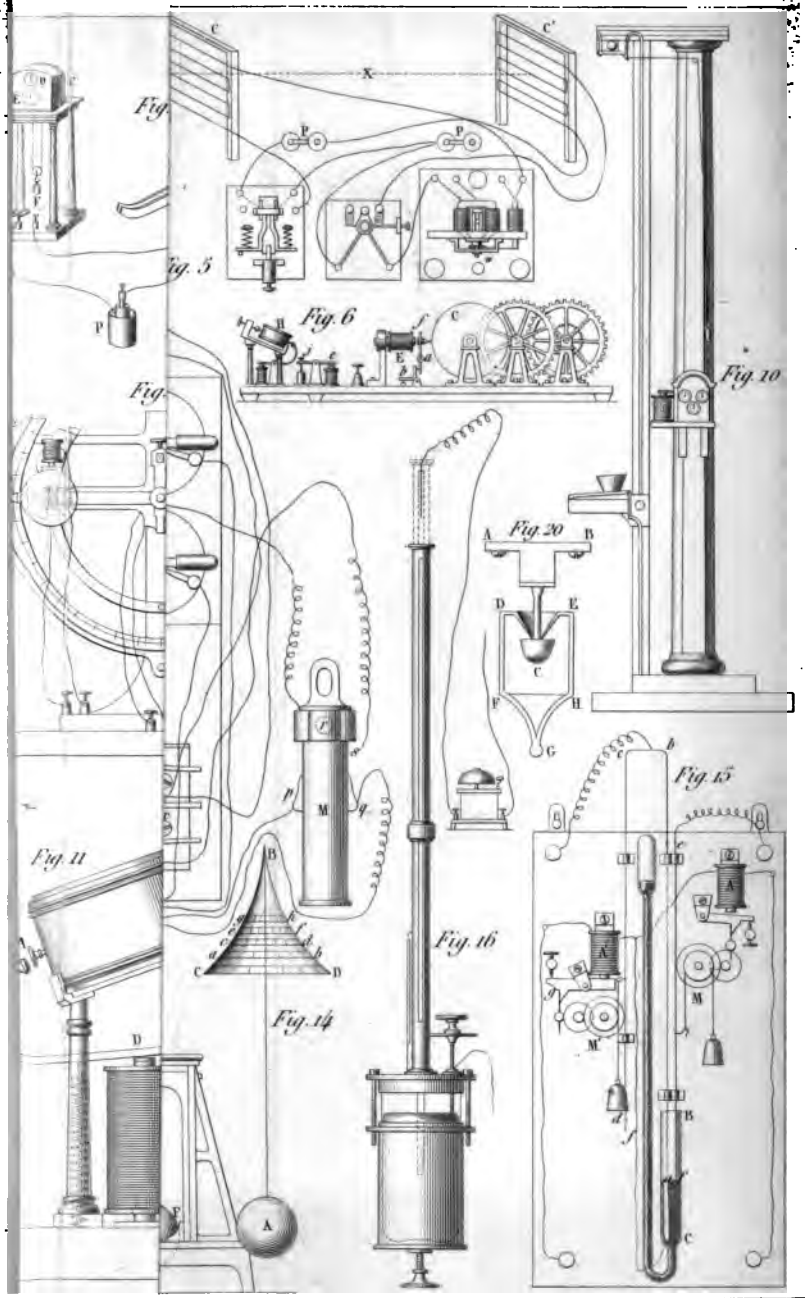
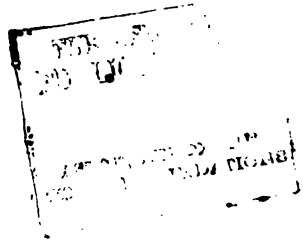


Fig. 5
Fig. 6
Fig. 10
Fig. 20
Fig. 15
Fig. 11
Fig. 16
Fig. 14



THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
REFERENCE DEPARTMENT

This book is under no circumstances to be taken from the Building

form 410